

УДК 658.345:656.0

Д. П. ХОДОСКИН, аспирант, Белорусский национальный технический университет, г. Минск

## ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ПЕРЕХОДНОМ ИНТЕРВАЛЕ

Представлены результаты исследований движения транспортных средств в переходном интервале на регулируемых перекрестках (РПК) двух типов: на обычном РПК и РПК с таймером. Целью статьи является определение особенностей при движении в переходном интервале на данных типах РПК, а также получение экспериментальных данных для изучения модели движения транспортных средств в инертной зоне дилеммы и создания базы данных, на которой будет основываться дальнейшая разработка мероприятий по предотвращению столкновений с ударом сзади. В качестве основных параметров данного исследования взяты следующие: «опережение старта», «запаздывание старта» и «запаздывание проезда на зеленый сигнал». С помощью компьютерной программы кафедры ОАПДД БНТУ «Исследование распределения случайных величин» произведена обработка экспериментальных данных и получен ряд необходимых (для развития дальнейших исследований зоны дилеммы) математико-статистических параметров. Проанализирована динамика изменения этих параметров на исследуемых РПК. Для каждого из изучаемых параметров на опытных РПК определен процент «опасных» автомобилей.

**П**одавляющее количество столкновений с ударом сзади происходит при подъезде к РПК при смене сигнала светофора с зеленого мигающего на желтый сигнал, так как водители попадают в так называемую зону дилеммы. Автором было предложено ввести определения «инертной» и «активной» зон дилеммы, так как эти понятия более четко и точно характеризуют физический смысл данных зон. «Активная» зона дилеммы основывается на следующем принципе: если водитель попадает в нее, то он может выбрать из двух вариантов – продолжить движение через перекресток, либо остановиться перед стоп-линией, причем оба варианта безопасны. Понятие «инертной» зоны дилеммы базируется на несколько ином принципе – когда для водителя возникают такие условия при попадании в нее, при которых он не может безопасно остановиться, но и проехать безопасно перекресток он тоже не может. Как показали исследования типов зоны дилеммы на РПК в г. Гомеле в более чем половине случаев наблюдается именно инертная зона. Данное исследование движения транспортных средств в переходном интервале будет содействовать выявлению недостатков в организации дорожного движения, обусловленных наличием этой зоны.

Исследования проводились на двух типах перекрестков: на обычном РПК и РПК с таймером. В качестве обычного РПК был выбран перекресток ул. Советская – ул. Головацкого. РПК ул. Крестьянская – ул. Гагарина был взят для исследований как перекресток с таймером. На исследуемых перекрестках переходной интервал

реализуется в виде только желтого сигнала продолжительностью 3 с. Наблюдения за транспортными средствами проводились в течение 100 светофорных циклов.

На данных РПК исследовались три параметра: «опережение старта», «запаздывание старта» и «запаздывание проезда на зеленый сигнал» (т. е. проезд на желтый или красный сигналы). Данные параметры были определены с помощью секундомера. Они были найдены следующими способами:

– «опережение старта»: включаем секундомер в тот момент, когда трогается первый автомобиль, и выключаем его, когда включается зеленый сигнал. Если досрочно трогается несколько автомобилей, то их время опережения определяется интерполированием;

– «запаздывание старта»: включаем секундомер в тот момент, когда включается зеленый сигнал, и выключаем его, когда трогается первый автомобиль;

– «запаздывание проезда на зеленый сигнал»: включаем секундомер в момент включения желтого сигнала и выключаем его в тот момент, когда последний автомобиль пересекает стоп-линию. Если на желтый или красный сигналы прорываются несколько автомобилей – фиксируем наибольшее время запаздывания. Время запаздывания остальных автомобилей определяем интерполированием.

В таблицах 1 и 2 в сокращенном виде представлены протоколы измерений на РПК ул. Крестьянская – ул. Гагарина (светофорный объект (СФО) с таймером) и РПК ул. Советская – ул. Головацкого.

Таблица 1 – Протокол измерений на РПК ул. Крестьянская – ул. Гагарина (ул. Крестьянская 1-я полоса)

Номер измерения, номер св. цикла	Опережение старта	Запаздывание старта	Запаздывание проезда на зеленый сигнал	Номер измерения, номер св. цикла	Опережение старта	Запаздывание старта	Запаздывание проезда на зеленый сигнал
1	2,06 / 1,3 / 0,8	–	2,22 / 1,1	51	1,05	–	–
2	2,03	–	–	52	2,42 / 1,9 / 0,9	–	–
3	1,1	–	–	53	2,19 / 1,1	–	–
...	...	...	...	...	...	...	...
48	2,52 / 1,5 / 1	–	–	98	0,83	–	–
49	3,05	–	–	99	1,4	–	–
50	0,72	–	1,82	100	0,98 / 0,5	–	0,59

Таблица 2 – Протокол измерений на РПК ул. Советская – ул. Головацкого (ул. Советская 1-я полоса от центра города)

Номер измерения, номер св. цикла	Опережение старта	Запаздывание старта	Запаздывание проезда на зеленый сигнал	Номер измерения, номер св. цикла	Опережение старта	Запаздывание старта	Запаздывание проезда на зеленый сигнал
1	1,31 / 0,7	–	2,5 / 0,96	51	–	1,91	1,83 / 1,1 / 0,5
2	1,24	–	0,64	52	1,88	–	1,26
3	1,36	–	–	53	1,15	–	–
...	...	...	...	...	...	...	...
48	1,15	–	3,91	98	0,76	–	–
49	–	1,05	–	99	0,79	–	1,14
50	–	0,56	–	100	0,87	–	0,6

Проанализировав способы получения параметров и их экспериментальные значения, встает вопрос: в каком объеме их исследовать – в полном или же только максимальные значения (первые в данном цикле)? Этот вопрос уместен, так как замеры параметров «опережение старта» и «запаздывание проезда на зеленый сигнал» обладают одной особенностью: второй автомобиль в очереди при замере «опережения старта» может тронуться только в том случае, когда уже тронулся первый; второй автомобиль на подъезде к РПК при замере «запаздывания проезда на зеленый сигнал» может осуществить проезд только после того, как это делает первый. Следовательно, если будем учитывать полные выборки по рассматриваемым параметрам, то, к примеру, математическое ожидание будет снижено из-за учета меньших значений (при этом изменятся и другие статистические параметры). Иначе, при учете только первых максимальных значений без внимания останутся значения параметров, характеризующие вторые, третьи и последующие автомобили. В связи с этим автором было принято решение проанализировать оба описанных выше случая.

Далее с помощью компьютерной программы кафедры ОАПДД БНТУ «Исследование распределения случайных величин» были определены оптимальные распределения десяти выборок, полученных в ходе проведения замеров параметров. Оптимальное распределение данная компьютерная программа выбирает по критерию Романовского из семи следующих распределений: нормального; логнормального; Релея; экспоненциального; Эрланга; Вейбулла; равномерного. Эта программа под имеющееся эмпирическое распределение с помощью вышеуказанного критерия подбирает оптимально подходящее теоретическое распределение. Критерий Романовского в данной задаче выступает в качестве критерия согласия (критерия оценки), который позволяет сделать вывод о том, объясняются ли расхождения между теоретическими и эмпирическими частотами случайными обстоятельствами, или они являются существенными и связаны с тем, что подобранная кривая плохо выравнивает имеющееся эмпирическое распределение. Расхождения между теоретической и эмпирической кривой распределения считаются существенными либо несущественными в зависимости от того, будет ли величина  $R$  (критерий Романовского) по абсолютной величине больше или меньше трех [1]. В том случае, если для нескольких законов величина  $R$  будет иметь значение меньше трех, то программа выбирает закон с наименьшим значением критерия – этот закон и будет оптимальным.

На рисунке 1 в сокращенной форме приведен пример обработки рассматриваемой компьютерной программой данных по выборке «запаздывание проезда на зеленый сигнал» для РПК ул. Крестьянская – ул. Гагарина.

В таблице 3 приведены основные результаты по обработке шести выборок по двум РПК, причем в этом случае были учтены только первые максимальные значения.

Проанализируем динамику изменения статистических параметров на исследуемых РПК на примере таблицы 3. Математическое ожидание для выборки по «опережению старта» больше для РПК с таймером и составляет 1,74 с, также для данного типа РПК больше значения среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации. Величина математического ожидания объясняется тем, что благодаря наличию таймера водители видят, сколько осталось секунд до конца горения красного сигнала и начинают свое движение иногда за 4–5 с до включения разрешающего сигнала. Это свидетельствует о том, что на таком РПК за счет более раннего старта у предыдущего потока «ворует» больше времени и поэтому «искусственно» сокращается величина переходного интервала. Данное обстоятельство нередко приводит к межфазным конфликтам, когда один водитель еще заканчивает движение через РПК (на зеленый мигающий или желтый сигнал), а второй в это время начинает свое движение на красно-желтый сигнал (или даже красный). Определенное среднеквадратическое отклонение характеризует большую величину среднего колебания параметра по выборке «опережение старта» для РПК с таймером. Обе выборки по коэффициенту вариации с математической точки зрения считаются неоднородными [1]. Соотношение количества случаев по данному параметру только подтверждает вывод, сделанный ранее.

По результатам исследования выборок по «запаздыванию старта» можно сделать следующие выводы: значения математических ожиданий практически равны для двух РПК, хотя значение для обычного РПК все-таки чуть больше; было зарегистрировано 15 случаев «запаздывания старта» для РПК без таймера и практически в два раза меньше для РПК с таймером. С точки зрения автора, полученная величина по «запаздыванию старта» для РПК с таймером великовата по понятным причинам. Однако второй вывод расставляет все на свои места, так как количество таких случаев на обычном РПК всегда будет больше в силу отсутствия на нем все того же таймера.

Величина математического ожидания для выборки по «запаздыванию проезда на зеленый сигнал» не намного, но больше для РПК с таймером. В то же время, чем больше времени горения желтого сигнала занимают водители предыдущей фазы, тем больше вероятность возникновения межфазного конфликта. Однако количество автомобилей, прорывающихся на желтый (а иногда и на красный) сигнал в одном цикле, больше на РПК без таймера на 15 случаев, что, естественно, повышает общую аварийность.

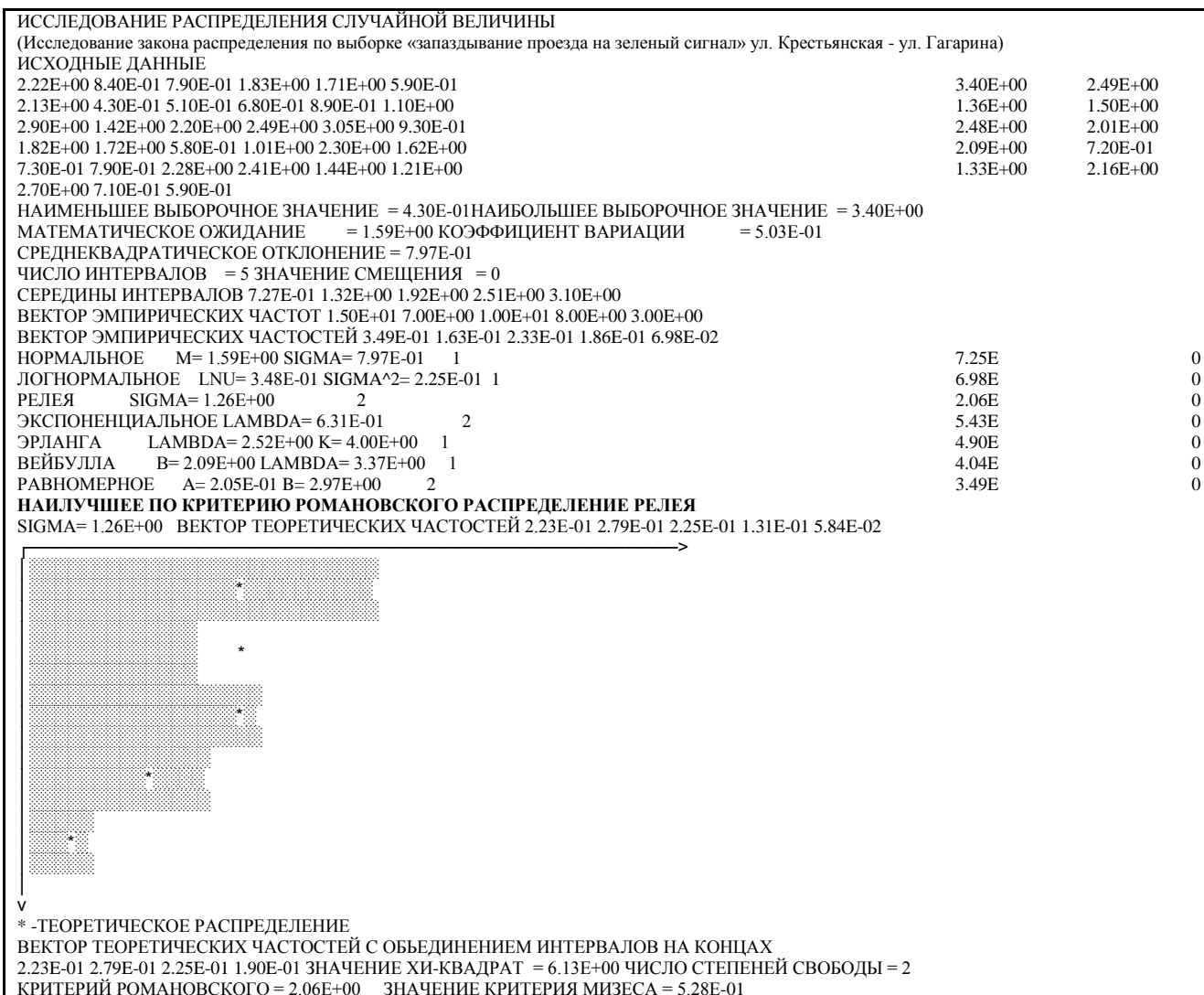


Рисунок 1 – Определение оптимального закона распределения для выборки по параметру «запаздывание проезда на зеленый сигнал» для РПК ул. Крестьянская – ул. Гагарина

Таблица 3 – Результаты исследования параметров, характеризующих движение транспортных средств в переходном интервале (учтены только первые максимальные значения)

Наименование РПК	Определяемые математико-статистические параметры выборок					
	Математическое ожидание, с	Среднеквадратическое отклонение, с	Коэффициент вариации	Количество случаев, ед	Оптимальное распределение	Значение критерия Романовского
<i>Параметр «опережение старта»</i>						
ул. Советская – ул. Головацкого	1,39	0,78	0,56	85	Эрланга	0,14
ул. Крестьянская – ул. Гагарина	1,74	1,05	0,60	92	Вейбулла	2,94
<i>Параметр «запаздывание старта»</i>						
ул. Советская – ул. Головацкого	1,34	0,61	0,46	15	Релея	0,42
ул. Крестьянская – ул. Гагарина	1,23	1,04	0,85	8	Экспоненциальное	0,59
<i>Параметр «запаздывание проезда на зеленый сигнал»</i>						
ул. Советская – ул. Головацкого	1,50	0,98	0,66	58	Эрланга	2,98
ул. Крестьянская – ул. Гагарина	1,59	0,80	0,50	43	Релея	2,06

*Примечание* – В случае, если имеет место параметр «запаздывание старта», то всегда имеется в виду только одно значение в цикле, так как данный параметр определялся только у первого автомобиля в очереди.

Представим, что если автомобили предыдущей фазы на РПК с таймером будут занимать в среднем 1,59 с по параметру «запаздывание проезда на зеленый сигнал», а настоящей фазы будут начинать движение на 1,74 с раньше по параметру «опережение старта», и если одновременно учесть, что переходной интервал равен 3 с, то в итоге мы наблюдаем межфазный конфликт (конечно же тут кроме всего прочего важную роль играет как видимость в направлении движения, так и видимость технических средств регулирования дорожного движе-

ния). Рассмотрение с этой же точки зрения полученных результатов аналогичных параметров по исследуемому (обычному) РПК также показывает на большую напряженность при движении автомобилей в переходном интервале. Основываясь на последних положениях приходим к выводу, что на обоих РПК существующая величина переходного интервала неудовлетворительна и необходимо ее увеличение.

Рассмотрим основные результаты исследования выборов, представленные в таблице 4 (учтены все значения).

**Таблица 4 – Результаты исследования параметров, характеризующих движение транспортных средств в переходном интервале (учтены все значения)**

Наименование РПК	Определяемые математико-статистические параметры выборок					
	Математическое ожидание, с	Среднеквадратическое отклонение, с	Коэффициент вариации	Количество случаев, ед.	Оптимальное распределение	Значение критерия Романовского
<i>Параметр «опережение старта»</i>						
ул. Советская – ул. Головацкого	1,33	0,76	0,57	112	Эрланга	3,86
ул. Крестьянская – ул. Гагарина	1,57	0,94	0,60	146	Вейбулла	1,72
<i>Параметр «запаздывание проезда на зеленый сигнал»</i>						
ул. Советская – ул. Головацкого	1,54	0,99	0,64	76	Эрланга	3,12
ул. Крестьянская – ул. Гагарина	1,56	0,78	0,50	46	Релея	1,04

Здесь стоит отметить, что динамика соотношения данных по сравнению с предыдущей таблицей несколько изменилась: разница в значениях параметров между двумя РПК по выборкам «опережение старта» и «запаздывание проезда на зеленый сигнал» сокращается, что связано с учетом всех результатов в искомым выборках (т. е. вторых, третьих и т. д. автомобилей). Разница в количестве случаев по «опережению старта» значительно увеличивается и составляет уже  $146 - 112 = 34$  случая при учете всех значений по сравнению с учетом только первых значений  $92 - 85 = 7$  случаев (таблица 3).

Сравнение математико-статистических параметров, представленных в последних двух таблицах, позволяет сделать следующий вывод, что результаты, приведенные в таблице 3 (т. е. учтено только первое максимальное значение) наиболее четко отражают разницу между исследуемыми РПК.

В таблицах 5–7 произведено посекундное распределение общего количества автомобилей по исследуемым параметрам. Так как данное исследование позволяет выявить количественную разницу автомобилей между рассматриваемыми РПК, то здесь уже рассмотрен случай учета всех значений в выборках.

**Таблица 5 – Распределение автомобилей по параметру «опережение старта»**

Наименование РПК	Количество автомобилей, начинающих движение раньше / доля от общего количества автомобилей						Общее количество автомобилей
	За 3 секунды до конца красного сигнала	За 2 секунды до конца красного сигнала	За 1 секунду до конца красного сигнала	За 1-ю секунду красно-желтого сигнала	За 2-ю секунду красно-желтого сигнала	За 3-ю секунду красно-желтого сигнала	
ул. Советская – ул. Головацкого	– / –	1 / 0,01	2 / 0,02	17 / 0,15	42 / 0,37	50 / 0,45	112
ул. Крестьянская – ул. Гагарина	1 / 0,01	2 / 0,01	6 / 0,04	36 / 0,25	49 / 0,33	52 / 0,36	146

**Таблица 6 – Распределение автомобилей по параметру «запаздывание старта»**

Наименование РПК	Количество запаздывающих при старте автомобилей / доля от общего количества автомобилей				Общее количество автомобилей
	За 1-ю секунду зеленого сигнала	За 2-ю секунду зеленого сигнала	За 3-ю секунду зеленого сигнала	За 4-ю секунду зеленого сигнала	
ул. Советская – ул. Головацкого	5 / 0,33	7 / 0,47	3 / 0,20	– / –	15
ул. Крестьянская – ул. Гагарина	5 / 0,625	1 / 0,125	1 / 0,125	1 / 0,125	8

Таблица 7 – Распределение автомобилей по параметру «запаздывание проезда на зеленый сигнал»

Наименование РПК	Количество автомобилей проезжающих стоп-линию / доля от общего количества автомобилей					Общее количество автомобилей
	За 1-ю секунду желтого сигнала	За 2-ю секунду желтого сигнала	За 3-ю секунду желтого сигнала	За 1-ю секунду красного сигнала	За 2-ю секунду красного сигнала	
ул. Советская – ул. Головацкого	31 / 0,41	23 / 0,30	17 / 0,22	3 / 0,04	2 / 0,03	76
ул. Крестьянская – ул. Гагарина	15 / 0,33	15 / 0,33	14 / 0,30	2 / 0,04	– / –	46

По результатам исследования выборок по «опережению старта» (см. таблицу 5) установлено, что: на РПК с таймером количество автомобилей, начинающих движение на красный сигнал, составляет 6 %, а на обычном РПК – 3 %; в течение горения красно-желтого сигнала процент автомобилей, начинающих движение, увеличивается; если учесть, что автомобили по параметру «запаздывание проезда на зеленый сигнал» занимают в среднем первые 1,5 с переходного интервала, то «более-менее» безопасным интервалом будет оставшаяся его часть (т. е. также 1,5 с). Это означает, что как минимум «безопасным» интервалом можно считать только 2-ю и 3-ю секунды горения желтого сигнала, причем в данном случае доля «опасных» автомобилей  $1 + 2 + 15 = 18$  % и  $1 + 1 + 4 + 25 = 31$  % соответственно.

По результатам исследования выборок по «запаздыванию старта» (см. таблицу 6) можно сделать следующие выводы: динамика распределения автомобилей на РПК с таймером в течение горения зеленого сигнала снижается, а на обычном РПК наоборот увеличивается; количество автомобилей, запаздывающих со стартом, практически в два раза больше на РПК без таймера. Такие выводы в полной мере объясняются наличием и особенностями работы РПК с таймером.

По результатам исследования выборок по «запаздыванию проезда на зеленый сигнал» (см. таблицу 7) видно, что: наибольшее количество автомобилей проезжает стоп-линию за время горения 1-й секунды желтого (41 и 33 % соответственно), а на последующих секундах количество автомобилей уменьшается; присутствуют автомобили, выезжающие на РПК на красный сигнал светофора, причем для РПК без таймера эта доля составляет 7 %, а для РПК с таймером – 4 %; ввиду того, что на каждом из исследуемых РПК присутствуют автомобили с «опережением старта», то следует также выделить в опасную группу как минимум автомобили, проезжающие стоп-линию в течение 3-й секунды, а

это уже совсем другой процент «опасных» автомобилей  $22 + 4 + 3 = 29$  % и  $30 + 4 = 34$  % соответственно. В данном случае автору снова видится необходимость в увеличении продолжительности переходного интервала.

Анализ экспериментальных результатов показал, что существующая величина переходного интервала на обоих РПК, но в особенности на РПК с таймером, не отвечает требованиям безопасности в вопросах предупреждения как столкновений с ударом сзади, так и межфазных столкновений и наездов на пешеходов, начинающих переход на удаленном пешеходном переходе. Основываясь на сделанных утверждениях, предлагается увеличить продолжительность переходного интервала на рассмотренных РПК.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие общие выводы:

- так как по результатам проведенного анализа по «опережению старта» и «запаздыванию проезда на зеленый сигнал» математические ожидания на РПК с таймером больше, чем на РПК без таймера, то такой РПК является потенциально более аварийным (что подтверждается сравнительным анализом очаговой аварийности таких типов перекрестков);

- роль переходного интервала на практике очень велика. Однако большая его продолжительность, способствуя повышению безопасности РПК, уменьшает его эффективность, что актуально и для обычных РПК, и для РПК с таймером. Но с позиции роста городов и необходимости проектирования усовершенствованных РПК величина переходного интервала должна быть достаточной для обеспечения безопасности дорожного движения и организации эффективной работы перекрестка.

#### Список литературы

- 1 Шевченко, Д. Н. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб.-метод. пособие для студ. электротехн. спец. / Д. Н. Шевченко. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 318 с.

Получено 04.10.2011

#### D. P. Khadoskin. Features movement of vehicles with transition range.

The results of studies of movement of vehicles in the transition interval controlled junctions (CCR) in two types: an ordinary CCR and CCR with a timer. The aim is to determine characteristics of the motion in the transition range for these types of CCR, as well as to obtain experimental data for the study of models of vehicles in the inert zone dilemmas and create a database on which to base further development of measures to prevent collision with a blow from behind. The main parameters of this study are taken as follows: «anticipation of launch», «delay start» and «delay passage of the green signal». With the help of a computer program chair OAPDD BNTU «Investigation of the distribution of random variables», produced experimental data, and a number of necessary (for the development of further research dilemma zone) mathematical and statistical parameters. The dynamics of these parameters to study the CCR. For each of the studied parameters on the experimental CCR defined percentage of «dangerous» car.