

УДК 658.345:656.0

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И БОРЬБЫ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ЗОНЫ ДИЛЕММЫ НА ПРИМЕРЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА Г. ГОМЕЛЯ

Отражены результаты работы автора в сфере определения и борьбы с последствиями зоны дилеммы и, следовательно, снижением аварийности в конфликте попутного транспорта. Разработана методика определения местоположения зоны дилеммы и составлена характеристика конкретных зон, в которые попадает водитель при подъезде к регулируемому перекрестку (РПК). По результатам проведенных исследований построен скоростной коридор, базирующийся на четырех расстояниях (при пересечении стоп-линии, 50, 100 и 150 м до стоп-линии). Проанализированы данные, полученные при помощи прибора «ЭФФЕКТ». Выделены и охарактеризованы понятия инертной и активной зон дилеммы, представлена их графическая интерпретация для рассматриваемого РПК. Определено конкретное местоположение этих зон на РПК. Установлено, что при увеличении продолжительности переходного интервала инертная зона дилеммы трансформируется в активную. Разработаны предложения по ликвидации последствий зоны дилеммы.

В результате анализа отечественных [1] и зарубежных [2, 4] литературных источников по вопросу определения местонахождения зоны дилеммы было выявлено, что оптимальной моделью, с точки зрения автора, будет являться модель, основывающаяся на следующих трех расстояниях: S_{\min} – минимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль остановится перед стоп-линией при использовании аварийного замедления j_a ; $S_{\min c}$ – минимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль остановится перед стоп-линией при использовании служебного замедления j_c ; S_{\max} – максимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль может проехать РПК в течение действия переходного интервала. Причем первые два расстояния не изменяют своего местоположения по отношению друг к другу, а S_{\max} изменяет свое положение по отношению к первым двум. Следовательно, возможно пять вариантов комбинации данных расстояний [3]: первый – при $S_{\max} < S_{\min} < S_{\min c}$; второй – $(S_{\max} = S_{\min}) < S_{\min c}$; третий – $S_{\min} < S_{\max} < S_{\min c}$; четвертый – $(S_{\max} = S_{\min c}) > S_{\min}$; пятый – $S_{\min} < S_{\min c} < S_{\max}$. В ходе анализа всех вариантов было выявлено, что самым аварийным из них является первый случай, так как имеет место инертная зона дилеммы.

В статье приведены методика и результаты применения созданной модели (по определению местоположения зоны дилеммы) на примере РПК ул. Советская – ул. Головацкого г. Гомеля.

Изучение состава транспортного потока на транзитной полосе по ул. Советской показало, что легковые автомобили составляют 93,0, грузовые – 4,25, автобусы – 1,5, сочлененные автобусы – 1,0, автопоезда – 0,25 %. Эти результаты позволяют

заклучить, что при расчете формул искомых расстояний (для установления конкретного местоположения зоны дилеммы) необходимо использовать значения параметров для легковых автомобилей. Искомые расстояния можно определить, используя следующие формулы:

$$S_{\min} = (t_p + t_2 + 0,5t_3)v + \frac{v^2}{2j_a}; \quad (1)$$

$$S_{\min c} = (t_p + t_2 + 0,5t_3)v + \frac{v^2}{2j_c}; \quad (2)$$

$$S_{\max} = -(B + l) + vt_{np} + \frac{a(t_{np} - t_p)^2}{2}, \quad (3)$$

где t_p – время реакции водителя, с; t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода, с; t_3 – время нарастания замедления, с; v – скорость автомобиля, м/с; j_a – величина аварийного замедления, м/с²; j_c – величина служебного замедления, м/с²; l – длина автомобиля, м; a – ускорение автомобиля, $a = 4,9 - 0,213v$, м/с² [4]; t_{np} – продолжительность переходного интервала, с; B – расстояние от стоп-линии до конца второго пешеходного перехода, м.

Расстояние B определяется согласно рисунку 1.

Опираясь на результаты ранее проведенных исследований (в том числе исследований автора), на размеры изучаемого РПК и справочные данные, были определены средние значения параметров, входящих в формулы (1)–(3). В результате для исследуемого РПК были получены следующие эмпирические уравнения искомых критических в зависимости от скорости и ускорения автомобиля:

$$S_{\min} = 1,125v + \frac{v^2}{16,2}; \quad (4)$$

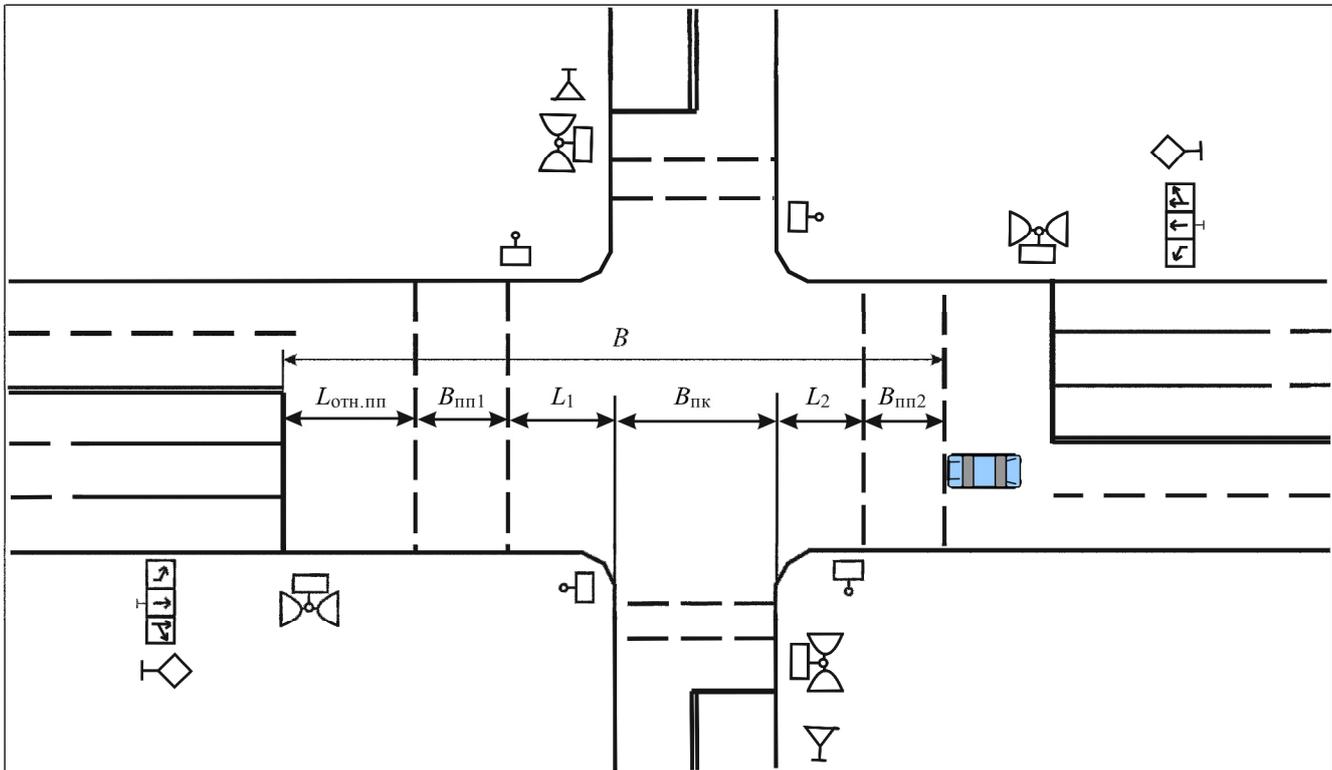


Рисунок 1 – Расчетная схема определения параметра B :

$L_{отн.пп}$ – величина отнесения первого пешеходного перехода, м; $B_{пп1}$ – ширина первого пешеходного перехода, м; L_1 – расстояние от первого пешеходного перехода до границы пересекающей проезжей части, м; $B_{пк}$ – ширина РПК, м; L_2 – расстояние от границы пересекающей проезжей части до второго пешеходного перехода, м; $B_{пп2}$ – ширина второго пешеходного перехода, м; $(L_{отн.пп} + B_{пп1} + L_1 + B_{пк} + L_2 + B_{пп2} + l)$ – корректировка по расстоянию, чтобы после проезда перекрестка задняя часть автомобиля находилась вне его, м

$$S_{min c} = 1,2v + \frac{v^2}{6,56}; \quad (5)$$

$$S_{max} = -35,8 + 3v + 2,42a. \quad (6)$$

При получении уравнений (4) и (5) соответственно использовались значения $j_a = 8,1 \text{ м/с}^2$ и $j_c = 3,28 \text{ м/с}^2$. Данные величины аварийного и служебного замедлений получены экспериментальным путем с помощью прибора «Эффект» [5] (на основе 417 замеров). Величина переходного интервала на исследуемом РПК составляет $t_{пр} = 3 \text{ с}$.

С помощью методики по определению мгновенных скоростей и дистанции между автомобилями, разработанной автором, получены выборки параметров на четырех расстояниях: при пересечении стоп-линии, 50 м до стоп-линии, 100 м до стоп-линии, 150 м до стоп-линии. В результате обработки данных выборок с помощью разработанной на кафедре ОАПДД БНТУ программы «Исследование распределения случайных величин» среди множества параметров получены следующие параметры: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, оптимальный закон распределения (по каждой выборке). Значения параметров представлены в таблице 1.

По центру скоростного коридора (рисунок 2) двумя точками для каждого расстояния указаны математические ожидания скоростей лидирующего и ведомого автомобилей (естественно, что средняя скорость лидирующего автомобиля больше, чем ведомого), а расстояние по вертикали между точками показывает математическое ожидание дистанции, на которой движутся автомобили. Ближний коридор к центральным точкам был образован между точками скорости лидирующего или ведомого автомобилей, которые, в свою очередь, были образованы от центральных точек интервалом $[-\sigma; +\sigma]$ (среднеквадратическое отклонение). Аналогично был образован и широкий скоростной коридор интервалом $[-2\sigma; +2\sigma]$. Причем в «малый» коридор в среднем на каждом расстоянии вошло 68,8 % пар автомобилей, а в «большой» – 94 % пар.

Дополнительные точки (ромбовидной формы) на рисунке 2 отражают результаты экспериментальных заездов в потоке автомобилей и определены с помощью прибора «Эффект» (при условии, что лабораторный автомобиль являлся лидирующим в группе и останавливался у стоп-линии при смене сигнала).

Таблица 1 – Некоторые результаты обработки выборок по скоростям лидирующего и ведомого автомобилей и дистанции между ними

Наименование параметра / показателя		Место измерения			
		при пересечении стоп-линии	на расстоянии 50 м до стоп-линии	на расстоянии 100 м до стоп-линии	на расстоянии 150 м до стоп-линии
Скорость лидирующего автомобиля, м/с	Математическое ожидание, м/с	8,42	8,09	11,1	11,7
	Стандартное среднеквадратическое отклонение, м/с	1,73	2,12	1,65	1,85
	Коэффициент вариации	0,2	0,26	0,15	0,16
	Оптимальный закон распределения	Эрланга	Логнормальное	Эрланга	Логнормальное
Скорость ведомого автомобиля, м/с	Математическое ожидание, м/с	8,27	7,84	10,8	11,4
	Стандартное среднеквадратическое отклонение, м/с	1,69	2,05	1,67	1,8
	Коэффициент вариации	0,2	0,26	0,15	0,16
	Оптимальный закон распределения	Эрланга	Логнормальное	Нормальное	Логнормальное
Дистанция между автомобилями, м	Математическое ожидание, м	7,94	8,17	9,33	9,92
	Стандартное среднеквадратическое отклонение, м	0,99	1,35	1,34	1,61
	Коэффициент вариации	0,12	0,17	0,14	0,16
	Оптимальный закон распределения	Логнормальное	Нормальное	Логнормальное	Логнормальное

Кривые S_{min} , $S_{min c}$, S_{max} (при $t_{пр} = 3$ с) и S_{max}^* (при $t_{пр} = 5$ с) также отражены на рисунке 2. Те из точек экспериментальных заездов, которые попадают между кривыми S_{min} и $S_{min c}$, оказываются в зоне, в которой у водителя имеется лишь одно верное решение – остановка (в существующих условиях). Причем она может осуществляться в широком диапазоне замедлений – от служебного 3,28 до аварийного 8,1 м/с². Основной задачей, помимо борьбы с последствиями зоны дилеммы, является также и минимизация случаев остановки с большим замедлением. По рисунку 2 видно, что такие случаи имеются (здесь речь идет о тех точках, которые находятся ближе к кривой S_{min}).

На исследуемом РПК имеется первый случай соотношения искомых расстояний $S_{max} < S_{min} < S_{min c}$, который в упрощенной форме представлен на рисунке 3.

Рассмотрим рисунок 3 подробнее, с точки зрения того, какие же возможности имеет водитель в каждой зоне. Водитель автомобиля, находящегося в зоне A , имеет в своем распоряжении только одно единственно верное решение – проезд РПК (так как до стоп-линии он уже безопасно остановиться не сможет). Водитель автомобиля, находящегося на расстоянии до стоп-линии меньше, чем S_{min} , в зоне E (не говоря уже о зоне B), также до стоп-линии безопасно остановиться не успеет.

Если автомобиль находится на расстоянии ($S_{min c} - S_{min}$) от стоп-линии – в зоне H , то води-

тель сможет остановиться при замедлении $j_c < j < j_a$ (т. е. меньше аварийного, но больше служебного). При нахождении на расстоянии $S_{min c}$ и более водитель сможет остановиться с замедлением j_c и $j < j_c$ соответственно.

В зоне D возникает инертная зона дилеммы ($S_{дл}$), т. е. водитель не сможет проехать безопасно РПК, так как находится на расстоянии до стоп-линии больше, чем S_{max} , и не сможет безопасно остановиться у стоп-линии, так как находится на расстоянии меньше, чем S_{min} . Следовательно, в данном случае такая зона дилеммы ограничена расстояниями S_{min} и S_{max} .

Возникает вопрос: как избежать последствий влияния зоны дилеммы (выезда на РПК на красный сигнал и резкого торможения) и минимизировать остановки с большим замедлением в зоне H ? Автор предлагает увеличить величину переходного интервала. С увеличением переходного интервала изменяется положение кривой S_{max} – она смещается вверх параллельно кривой, изображенной на рисунке 2 (построенной с учетом $t_{пр} = 3$ с). Дальнейший анализ рисунка 2 показал, что оптимальной величиной переходного интервала на данном РПК будет являться интервал, равный 5 с. При этом кривая S_{max}^* (соответствующая $t_{пр} = 5$ с) находится выше кривой $S_{min c}$, и соответственно возникает положение, отраженное на рисунке 4.

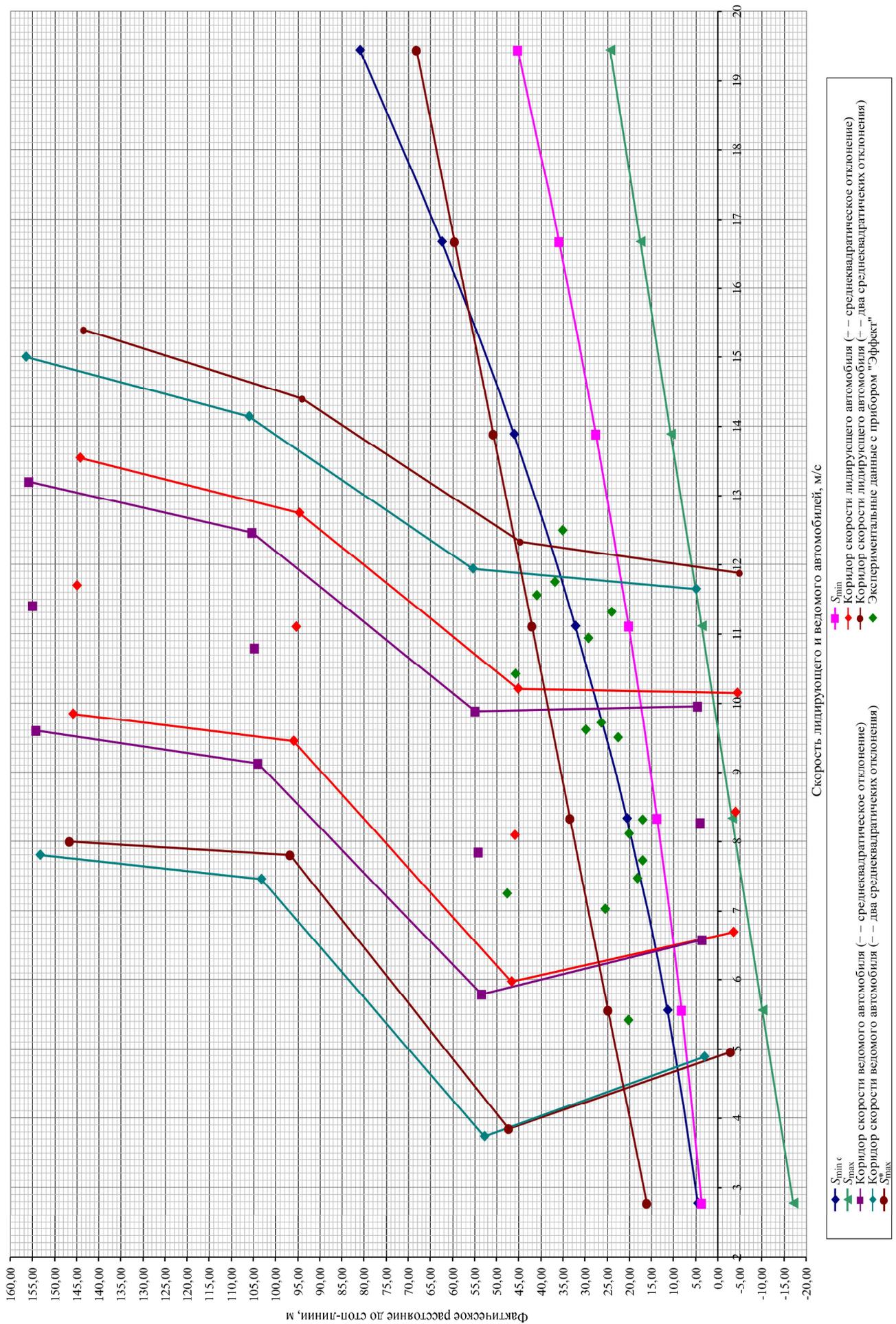


Рисунок 2 – Построение зоны дилеммы и скоростных коридоров в интервалах $[-\sigma; +\sigma]$ $[-2\sigma; +2\sigma]$ на исследуемом РПК

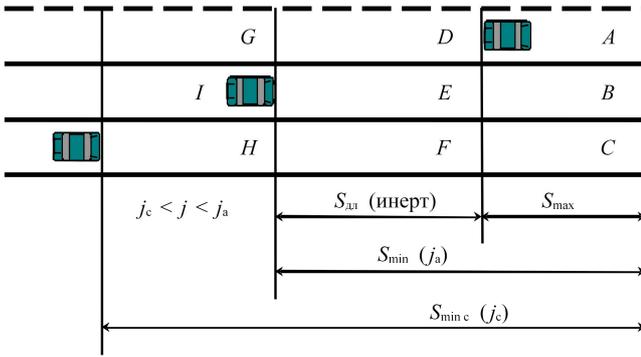


Рисунок 3 – Расположение инертной зоны дилеммы при $t_{пр} = 3$ с ($S_{max} < S_{min} < S_{min c}$)

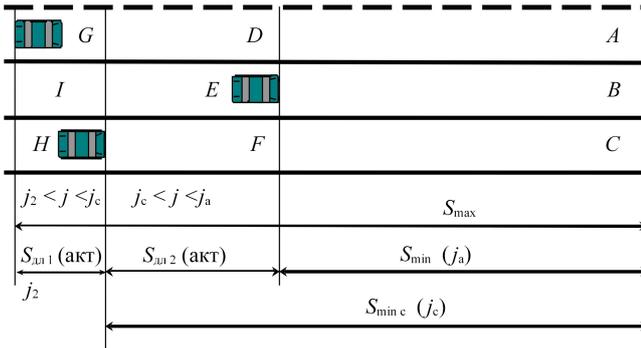


Рисунок 4 – Расположение активных зон дилеммы при $t_{пр} = 5$ с ($S_{min} < S_{min c} < S_{max}^*$)

Определить величину переходного интервала можно также по эмпирической формуле [4]

$$t_{пр} = 1 + 0,1S, \quad (7)$$

где S – расстояние от стоп-линии до наиболее удаленной конфликтной точки, м. На взятом РПК принимаем $S = 18,5$ м. Тогда

$$t_{пр} = 1 + 0,1 \cdot 18,5 \approx 3 \text{ с.}$$

То есть минимальная величина переходного интервала, обеспечивающая проезд автомобиля до самой удаленной конфликтной точки, равна 3 с. Величина переходного интервала, полученная по

формуле (7), соответствует существующей величине данного параметра. Однако имеющаяся величина ни в коем разе не предотвращает проезд РПК на красный сигнал и не предотвращает влияние инертной зоны дилеммы (резких торможений при смене сигнала светофора, приводящих к столкновениям с ударом сзади). Кроме всего прочего, существующий интервал не обеспечивает безопасность для пешеходов, переходящих проезжую часть на удаленном (втором) от входа легкового автомобиля пешеходном переходе, так как он располагается за наиболее удаленной конфликтной точкой, а некоторые пешеходы, в свою очередь, начинают движение за 1–2 секунды до завершения горения красного сигнала.

При проведении исследований движения автомобилей в переходном интервале изучался и параметр «запаздывание проезда на зеленый сигнал (ЗС)». Данный параметр характеризует и фиксирует, в том числе, и проезды РПК на красный сигнал. Он был определен следующим образом: включаем секундомер в момент включения желтого сигнала и выключаем его в тот момент, когда последний автомобиль из пачки завершает пересечение РПК. Результаты изучения этого параметра с помощью программы кафедры ОАПДД БНТУ «Исследование распределения случайных величин» представлены в таблице 2.

В ходе проведения эксперимента в течение 100 светофорных циклов было зафиксировано 70 проездов РПК на желтый сигнал светофора и 6 проездов РПК на красный сигнал. Параметр «математическое ожидание» в данном случае характеризует продолжительность занятия исследуемым потоком желтого сигнала. Таким образом, 1,54 с продолжительности желтого сигнала занято предыдущим потоком автомобилей, что доказывает необходимость увеличения продолжительности переходного интервала и, соответственно, изменения условий проезда РПК (см. рисунок 4).

Таблица 2 – Результаты исследования параметра «запаздывание проезда на ЗС»

Наименование РПК	Математическое ожидание, с	Среднеквадратическое отклонение, с	Коэффициент вариации	Доля автомобилей, %	Оптимальное распределение	Значение критерия Романовского
Ул. Советская – ул. Головацкого	1,54	0,995	0,644	58	Эрланга	2,98

Рассмотрим, какие же возможности имеет водитель на рисунке 4. Водитель автомобиля, находящегося на расстоянии S_{max}^* и менее, т. е. в зонах А, D или G, имеет возможность проехать РПК. Водитель – на расстоянии S_{min} – остановится перед стоп-линией при использовании замедления

j_a , но находящийся уже в зоне B – остановиться безопасно не сумеет. Водитель, находящийся в зоне F, остановится с замедлением $j_c < j < j_a$. Первая активная зона дилеммы возникает в зоне I. Водитель в этой зоне имеет две возможности: проехать РПК или остановиться с замедлением

$j_2 < j < j_c$, причем оба варианта безопасны. Вторая зона дилеммы (также активная) возникает в зоне E , попав в которую, водитель может как проехать РПК, так и остановиться с замедлением $j_c < j < j_a$, причем и эти два варианта также относительно безопасны. Однако в последнем случае остается открытым вопрос о минимизации случаев торможения автомобилей с большим замедлением в зоне F . Работа над данным вопросом еще продолжается, но уже сейчас его можно решить постановкой дорожного знака.

Данный знак должен будет обязывать водителей, попавших во вторую половину зоны F (ближе к зоне C), проезжать РПК. Эта возможность для водителей, находящихся в зоне F и представилась потому, что было осуществлено увеличение переходного интервала с 3 с до 5 с.

Получено 25.02.2011

D. P. Khadoskin. The development of methods for determining the location and against the consequences zone dilemmas for example controlled crossing in Gomel.

This article reflects the results of the thesis of the author to identify and combat the effects of dilemma zones and, consequently, decrease accidents in the conflict associated transport. The author has developed a method of determining the location of the dilemma zone and is composed of description of specific zones in which a driver gets at the entrance to the controlled intersection (CPC). Author on the study results was built high-speed corridor, based on the four distances (at the intersection stop line, 50 m, 100 m, 150 m to the stop line). Also analyzed data collected by the device "EFFECT". Were isolated and characterized the concept of inertial and active zones dilemmas presented their graphical interpretation for the considered the CPC. Also determined the specific location of these zones on the CPC. Revealed the following pattern: with increasing length of the transition interval inert dilemma zone is transformed into active. The author developed concrete proposals to address the consequences of the dilemma zone.

Список литературы

1 Врубель, Ю. А. Организация дорожного движения. В 2 ч. Ч. 1 / Ю. А. Врубель. – Мн. : Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 328 с.

2 Traffic Control Systems Handbook / FHWA Office of Operations. P. N.: FHWA-HOP-06-006. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2005. – 256 p.

3 Ходоскин, Д. П. Определение местоположения зоны дилеммы с учетом опыта отечественных и зарубежных исследований / Д. П. Ходоскин, О. А. Шевель // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : сб. науч. ст. Международ. науч.-практ. конф. 23–28 октября 2010 г. / БНТУ; редкол. : Ф. А. Романюк [и др.]. – Мн., 2011. – С. 128–135.

4 Car following theory of steady state traffics flow / D. Gazis [et al.]. – Opns. res., 1959. – Vol. 7. – P. 499–505.

5 Ходоскин, Д. П. Исследование замедления и начальной скорости торможения на регулируемых перекрестках / Д. П. Ходоскин // Политранспортные системы: материалы VII Всерос. науч.-техн. конф., Красноярск, 25–27 ноября 2010 г. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2010. – 659 с.