

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 658.345:656.0

Д. П. ХОДОСКИН, ассистент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАСПОЛОЖЕНИЕ ЗОНЫ ДИЛЕММЫ: МЕТОДИКА, НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ

Из имеющихся на сегодняшний день методов исследования механизма столкновений с ударом сзади выбран метод зоны дилеммы. Дано четкое определение данной зоны и ее характеристик. Выявлено, что существует несколько ее видов: классическая и физическая. В соответствии с предложенной усовершенствованной методикой этим видам даны другие названия, которые более полно и точно характеризуют их применительно к условиям Республики Беларусь. Сокращенно приведены имеющиеся на данный момент зарубежные и отечественные методики по определению местоположения зоны дилеммы на подъезде к регулируемому перекрестку (РПК) на желтый сигнал (ЖС). В ходе их исследования было выявлено, что все они имеют серьезные недочеты, такие как: приблизительность определения местоположения искомой зоны; учет лишь ширины РПК; присутствие только критических расстояний в моделях; отсутствие расстояния, учитывающего величину переходного интервала и т. д. Каждый из недочетов получил свое объяснение и соответственно предложение по его ликвидации. В итоге предложена усовершенствованная модель с учетом таких важных параметров, как величина служебного замедления и продолжительность переходного интервала.

На сегодняшний день существуют следующие методы изучения механизма столкновений с ударом сзади: очаговый анализ, вероятностное моделирование движения лидирующего и ведомого автомобилей, динамические модели, теория следования за лидером и метод зоны дилеммы (в части определения ее местоположения, выявления сопутствующих параметров конфликтного объекта и транспортного потока, а также разработки мероприятий по нейтрализации ее влияния). В силу причин, изложенных в работах [1, 2], оптимальным из перечисленных был принят метод зоны дилеммы.

Однако все имеющиеся на данный момент трактовки данного метода и зарубежные (США), и отечественные (РБ) содержат в себе ряд неточностей и обобщенностей. Таким образом, в статье автором кратко представлены имеющиеся диссертационные наработки по рассматриваемому методу и на основе анализа недостатков существующих моделей предложена новая трактовка метода зоны дилеммы.

Зона дилеммы представляет собой отрезок дороги, попадая на который водитель должен сделать выбор – либо ускориться и проехать перекресток, либо резко затормозить и остановиться перед стоп-линией.

Зона дилеммы наиболее часто возникает у водителя, когда он, находясь на некотором расстоянии от РПК, видит, что для него загорается желтый сигнал. Если в зону дилеммы попадает одновременно несколько водителей, то принимаемые ими решения могут оказаться различными. В том случае, если водитель лидирующего автомобиля примет решение остановиться, то водитель ведомого автомобиля в любом случае, независимо от того, какое решение принял он до того, также будет вынужден остановиться. При этом из-за потери времени на перемену своего решения, малых интервалов времени между движущимися автомобилями и резкого торможения лидирующего автомобиля вероятность столкновения с ударом сзади многократно увеличивается [3].

Зарубежными авторами применяется два подхода к определению зоны дилеммы (или же зоны нерешитель-

ности) – «классическая» и «физическая» (с англ. «classical» и «physical» соответственно) [4]. В отечественной литературе применяется только одно понятие, соответственно, «зона дилеммы» [3].

Автором предлагается вместо названных типов искомой зоны ввести следующие определения «инертной» и «активной» зон дилеммы. Эти понятия будут более точно и полно характеризовать рассматриваемые зоны. Соответственно «активная» зона дилеммы основывается на следующем принципе: если водитель попадает в зону дилеммы, то он может выбрать из двух вариантов – продолжить движение через перекресток, либо остановиться перед стоп-линией. Оба этих варианта в такой зоне дилеммы безопасны. Понятие «инертной» зоны базируется на несколько ином принципе – когда для водителя возникают такие условия при попадании в эту зону, при которых он не может безопасно остановиться, однако и безопасно проехать РПК он тоже не может.

Местоположение зоны дилеммы может быть определено различными способами. В работах [4, 5] она определяется как расстояние между двумя точками. Первая точка характеризуется тем, что в ней при загорающемся ЖС 90 % всех водителей останавливаются перед стоп-линией, а вторая – тем, что 90 % всех водителей проезжают РПК схода (соответственно только 10 % водителей останавливаются).

В работе [6] предполагается, что начало зоны дилеммы характеризуется тем, что 85 % всех водителей останавливаются перед стоп-линией в том случае, если у них в распоряжении есть 5 секунд и более до стоп-линии. Конец зоны дилеммы характеризуется точкой, в которой 85 % всех водителей проезжают РПК, при этом в их распоряжении менее 2 секунд до стоп-линии.

Другие исследователи [7] при определении начала зоны дилеммы базируются на соблюдении безопасной остановочной дистанции, которая главным образом зависит от скорости подхода автомобиля к РПК.

Для наглядности местоположение зоны дилеммы, согласно приведенным выше способам, отражено на рисунке 1.

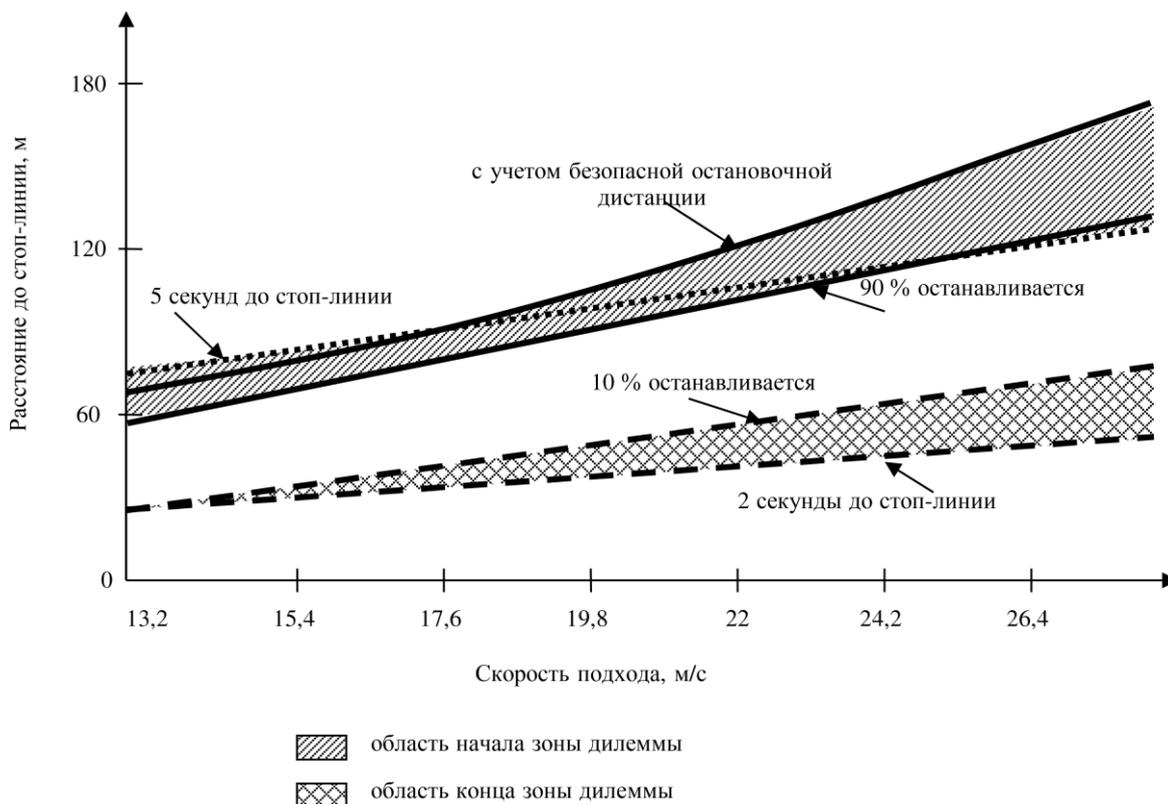


Рисунок 1 – Определение местоположения начала и конца зоны дилеммы

Визуально по графику можно сравнить имеющиеся способы определения расположения искомой зоны и получить ее среднестатистическое местоположение. Границы зоны, основанные на безопасной остановочной дистанции, обычно имеют экспоненциальную зависимость. Границы, основанные на времени подъезда к перекрестку, имеют линейную зависимость. Проанализировав рисунок, можно сделать вывод, что зона дилеммы имеет примерные границы 5,5 и 2,5 с до стоп-линии. Во многих источниках [4, 5] данное время приравнивается приблизительно к 90 и 10 % водителей соответственно. Однако все приведенные выше способы не содержат какой-либо приемлемой методики для определения положения исследуемой зоны и являются весьма приблизительными. Ниже более полно представлены зарубежные и отечественные модели.

В работах [8, 9] рекомендуют изображать диаграмму кривых S_{\min} и S_{\max} (где S_{\min} – это расстояние до стоп-линии, необходимое для остановки с аварийным замедлением, а S_{\max} – максимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль может проехать РПК в течение действия переходного интервала), чтобы разобраться в проблемах, создаваемых зоной дилеммы (рисунок 2). Такая графическая интерпретация позволяет определить, правильно ли спроектирована продолжительность переходного интервала; диапазон скоростей в районе РПК.

На рисунке 2 кривые пересекаются в двух точках, это означает, что водители находятся в определенном скоростном диапазоне и в определенном диапазоне расстояния до стоп-линии. В нем водители могут как безопасно остановиться, так и безопасно проехать перекресток. На рисунке 2 данный диапазон находится между скоростями v_1 и v_2 . Водители, находящиеся в области A , не могут «очистить» (проехать) РПК, но имеют достаточно времени, чтобы остановиться с замедлением меньше аварийного. Водители, оказавшиеся в области B (лидирующий автомобиль B , двигающийся со скоростью v_A), могут «очистить» перекресток, но не имеют возможности безопасно остановиться. Водители, попавшие в область C (ведомый автомобиль A , двигающийся со скоростью v_B), могут выполнить любой маневр (активная зона дилеммы). Водители, находящиеся в областях D или E , попадают в зону дилеммы (инертную) и не могут выполнить никакого маневра успешно.

В зарубежных работах [8, 10] применяется следующая модель (для определения местоположения «физической» зоны дилеммы): автомобиль приближается к РПК со скоростью v и находится на расстоянии $S_{ж}$ до стоп-линии – в этот момент загорается ЖС светофора. Водитель располагает несколькими возможностями: уменьшить скорость и остановиться у стоп-линии или ускориться и проехать РПК на ЖС.

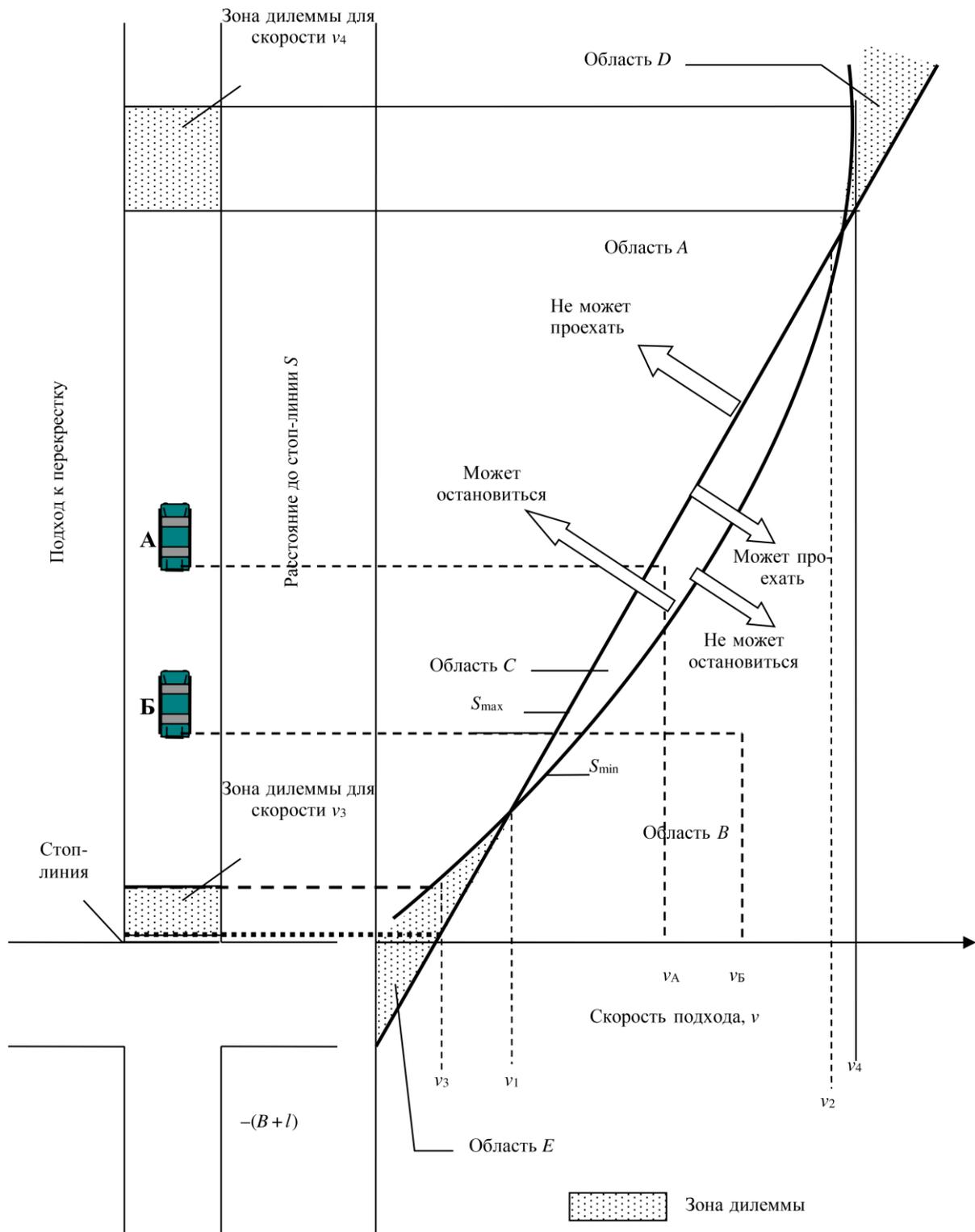


Рисунок 2 – Диаграмма кривых S_{\min} и S_{\max}

В зависимости от расстояния до стоп-линии и скорости движения зачастую у водителя нет уверенности в том, что он сможет безопасно остановиться или же безопасно проехать РПК до того, как на него войдет транспортный поток другой фазы. Если водитель выберет остановку, то он начнет замедляться спустя некоторое время t_p (время реакции водителя). Расстояние, которое пройдет автомобиль, будет включать: расстояние, пройденное за время реакции водителя и за время замедления. Чтобы гарантировать безопасную и ком-

фортную остановку водителю перед стоп-линией, должно выполняться следующее неравенство [6, 7]:

$$S_{\text{ж}} \geq vt_p + \frac{v^2}{2j_c}, \quad (1)$$

где $S_{\text{ж}}$ – расстояние до стоп-линии в тот момент, когда загорается ЖС светофора, м; v – скорость автомобиля на подходе к РПК, м/с; t_p – время реакции водителя, с; j_c – служебное замедление автомобиля, м/с².

Последнее неравенство может использоваться также для определения минимального расстояния до стоп-линии (S_{\min}), при котором еще возможна остановка при загорающемся ЖС [10]:

$$S_{\min} \geq vt_p + \frac{v^2}{2j_a}, \quad (2)$$

где j_a – аварийное замедление автомобиля, м/с^2 .

Поэтому, если автомобиль находится на расстоянии от стоп-линии, меньшем чем расстояние S_{\min} при загорающемся ЖС, то водитель будет не в состоянии остановиться безопасно. Следовательно, область дороги от стоп-линии до S_{\min} – это область, попав в которую при загоревшемся ЖС, водитель не сможет безопасно остановиться (рисунок 3).

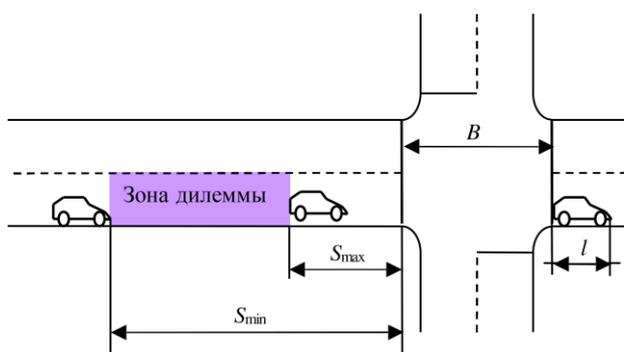


Рисунок 3 – Изображение областей S_{\min} и S_{\max} (физическая зона дилеммы)

Если водитель решит ускориться и проехать перекресток, то определение расстояния «очистки» будет базироваться на следующем уравнении, общий вид которого выглядит как [10]:

$$S_{\max} = S_{\text{ж}} + vt_p + 0,5at_p^2, \quad (3)$$

где S_{\max} – расстояние «очистки» или максимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль может проехать РПК в течение действия переходного интервала, м; a – ускорение автомобиля, м/с^2 .

Для того чтобы водитель имел возможность безопасно проехать РПК, должно соблюдаться неравенство [10]:

$$S_{\max} \leq -(B+l) + vt_{\text{пр}} + \frac{a(t_{\text{пр}} - t_p)^2}{2}, \quad (4)$$

где B – ширина перекрестка, м; l – длина автомобиля, м; $t_{\text{пр}}$ – продолжительность переходного интервала, с; $(B+l)$ – корректировка по расстоянию, чтобы после проезда РПК задняя часть автомобиля находилась вне него, м.

В случае, если водитель находится на расстоянии от стоп-линии, большем чем расстояние S_{\max} при загорающемся ЖС, то он не сможет проехать перекресток за время действия переходного интервала. Поэтому в ситуации, когда $S_{\text{ж}} > S_{\max}$ водитель находится в области, где он не сможет проехать перекресток без риска попасть в межфазное столкновение с потоком, начинающим движение.

В представленных выше моделях определения местоположения физической зоны дилеммы присутствуют следующие недостатки:

– в формуле (4) используется параметр B , обозначающий ширину РПК. Таким образом, когда загорается красный сигнал (КР), автомобиль должен находиться в положении, показанном на рисунке 3. Однако данное утверждение представляется не совсем правильным, так как на взгляд автора в данный параметр должно входить все расстояние от стоп-линии до конца второго удаленного пешеходного перехода, то есть данный параметр (B) будет состоять из нескольких составляющих: величины отнесения первого пешеходного перехода, ширины первого пешеходного перехода, расстояния от первого пешеходного перехода до границы пересекающей проезжей части, ширины РПК, расстояния от границы пересекающей проезжей части до второго пешеходного перехода, ширины второго пешеходного перехода;

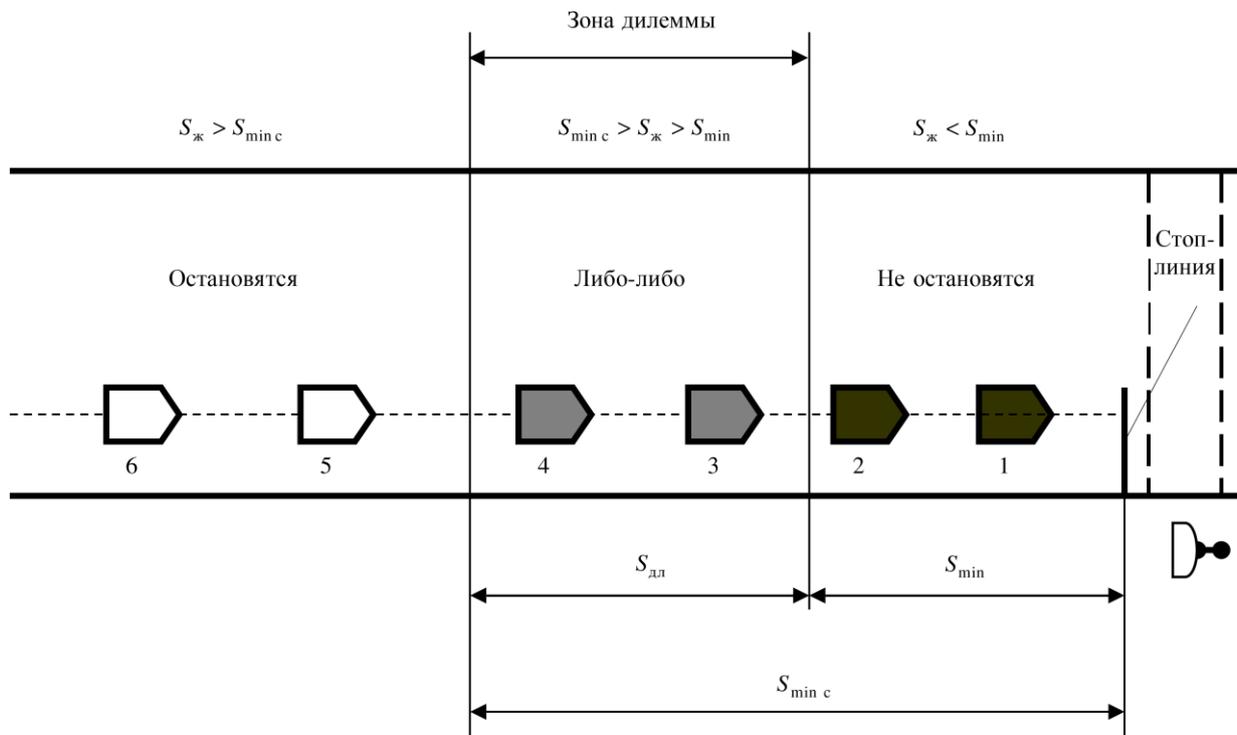
– модель задана, исключительно критическими расстояниями, что не совсем верно, так как отсутствует расстояние, характеризующее движение автомобилей при среднестатистических величинах параметров потока (в частности, расстояние, характеризующее служебное замедление).

В отечественной литературе [3] зона дилеммы определяется как разность между двумя расстояниями: расстоянием до стоп-линии, необходимым автомобилю для остановки при служебном замедлении ($S_{\min c}$), и расстоянием до стоп-линии – при аварийном замедлении (S_{\min}). В данной модели принимается допущение: величина служебного замедления $j_c = 2 \text{ м/с}^2$. Расстояние до полной остановки у стоп-линии (при выборе водителем решения об остановке при загорающемся ЖС и использовании служебного замедления) в данной методике определяется как:

$$S_{\min c} = v \left(1 + \frac{v}{2j_c} \right). \quad (5)$$

Параметр S_{\min} определяется аналогично с использованием аварийного замедления j_a .

Водитель, оказавшийся при включении ЖС на расстоянии, большем чем $S_{\min c}$, безопасно остановится у стоп-линии при использовании замедления даже меньше служебного. Если же водитель окажется на расстоянии, меньшем чем S_{\min} , то в сложившейся ситуации он располагает единственным верным решением – ускориться и проехать РПК. Если ЖС застанет водителя на расстоянии от стоп-линии, меньшем чем $S_{\min c}$, но большем чем S_{\min} , то, по мнению автора данной методике [3], возникает зона дилеммы, в которой водителем может быть принято любое из двух решений – остановиться или продолжить движение через РПК (рисунок 4).



Автомобили 1 и 2 проследуют через стоп-линию без остановки, автомобили 5 и 6 остановятся при служебном замедлении, автомобили 3 и 4, находящиеся в зоне дилеммы, остановятся либо проследуют через РПК

Рисунок 4 – Зона дилеммы, определяемая расстояниями $S_{\min c}$ и S_{\min}

Следовательно, длина зоны дилеммы будет определяться как [3]:

$$S_{\text{дл}} = S_{\min c} - S_{\min}. \quad (6)$$

Большим недостатком данной методики является полное игнорирование максимального расстояния до стоп-линии, при котором автомобиль может проехать РПК в течение действия переходного интервала (S_{\max}). Данный недостаток рассмотрен ниже на примере усовершенствованной модели более подробно.

При построении усовершенствованной модели попутного движения с целью определения местоположе-

ния зоны дилеммы целесообразно использовать три расстояния: S_{\min} , $S_{\min c}$, и S_{\max} . Это позволит, рассматривая взаимоотношения между ними в различных комбинациях (всего пять), более точно определять возможности водителей. Это будет способствовать как успешной остановке перед стоп-линией (без столкновений с ударом сзади), так и успешному пересечению водителями РПК и предотвращению выездов автомобилей на КС и, следовательно, межфазных аварий.

Для примера рассмотрим один из основных случаев усовершенствованной модели, характеризующийся соотношением $S_{\max} < S_{\min} < S_{\min c}$ (рисунок 5).

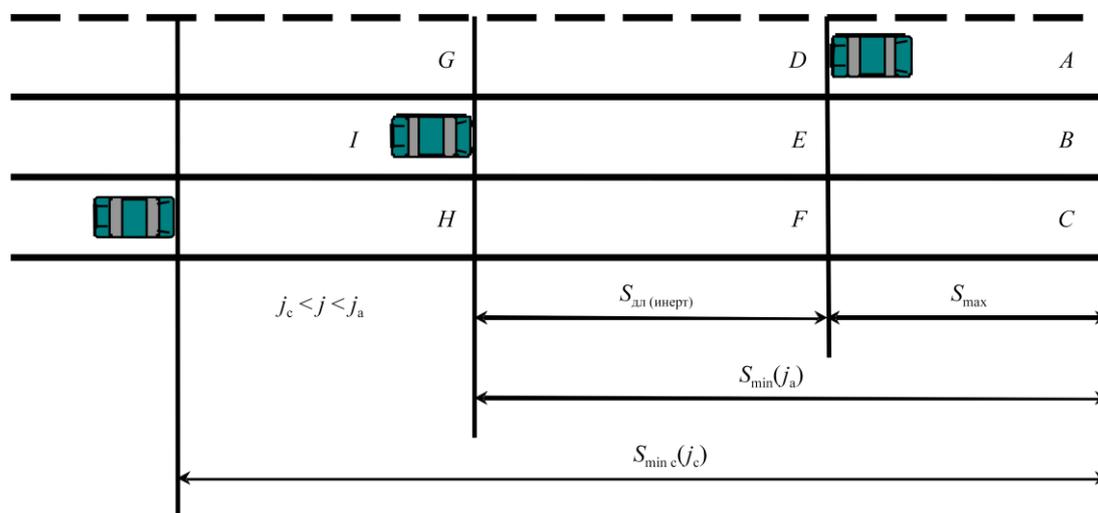


Рисунок 5 – Расположение зоны дилеммы в случае $S_{\max} < S_{\min} < S_{\min c}$

Водитель автомобиля, находящегося в зоне A , имеет в своем распоряжении только одно единственно верное решение, то есть – проезд РПК (так как до стоп-линии он уже безопасно остановиться не сможет). Водитель автомобиля, находящегося на расстоянии до стоп-линии, меньшем чем S_{\min} , то есть 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 водитель сможет остановиться при замедлении $j_c < j < j_a$ (то есть 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, то есть водитель не сможет проехать безопасно РПК, так как находится на расстоянии до стоп-линии, большем чем S_{\max} , и не сможет безопасно остановиться у стоп-линии, так как находится на расстоянии, меньшем чем S_{\min} . Следовательно, в данном случае зона дилеммы ограничена расстояниями S_{\min} и S_{\max} .

В отечественной модели не учитывается расстояние S_{\max} , что приводит к завершению проезда РПК автомобилями на КС (или даже к выезду на РПК на КС) и провоцирует межфазные столкновения (по статистике США на данный вид приходится 15 % аварий ежегодно от общего их числа на РПК [10]; согласно анализу аварийности в г. Гомеле таких аварий было зарегистрировано порядка 8,5 % [11]). Водитель, попавший в зону A , проехать РПК за время переходного интервала успеет, а вот попавший в зону D – безопасно этого сделать уже не сможет. К тому же в данной модели используется непосредственно только общее понятие «зоны дилеммы», однако, как мы уже убедились, эта категория очень обобщенная, так как при различных комбинациях используемых расстояний перед стоп-линией возникает несколько зон с различными характеристиками и, находясь в которых, водители должны принять одно из решений. Еще одной неточностью является упрощение касательно времени, а именно: времени реакции, времени срабатывания тормозного привода и времени нарастания замедления. Здесь речь идет о сумме перечисленных отрезков времени, которые принимаются за 1 с, что искажает результат. Величина служебного замедления, взятая для расчетов и равная $j_c = 2 \text{ м/с}^2$, также является устаревшей величиной. Это утверждение доказали экспериментальные исследования, проведенные автором с помощью прибора «Эффект» по г. Гомелю на протяжении 2011 года на 38 наиболее аварийных РПК. Всего было произведено 417 измерений на следующих группах РПК: на РПК отсутствуют дублирующие светофоры; на РПК имеются светофорные объекты (СФО) с таймером; на РПК имеются СФО, вынесенные над проезжей частью; при подъезде к РПК видимость сигналов светофора менее 150 м; на РПК имеются входы с полосами, на которых динамический коэффициент приведения состава ТП более 1,25; на РПК имеются СФО с продолжительностью красно-желтого сигнала 3 с. В результате помимо других величин были выявлены значения аварийного и служебного замедлений, равные соответственно 8,1 и 3,28 м/с^2 .

Изобразив графически зависимость $S = f(v)$ на опытном РПК (аналогично рисунку 2), было установлено, что присутствует случай с наличием инертной зоны дилеммы (где S – фактическое расстояние до стоп-линии, м). На этом графике были нанесены кривые для всех остальных значений изучаемых замедлений, а также 100 экспериментальных точек, полученных с помощью прибора «Эффект». Каждая точка характеризовалась тремя основными параметрами: фактическим расстоянием, на котором находился автомобиль в момент смены сигналов; скоростью движения автомобиля; величиной замедления. Были получены следующие результаты по исследованию интервалов замедлений на опытном РПК: менее 1,20 м/с^2 – 2 значения; 1,20–2,24 м/с^2 – 6; 2,24–3,28 м/с^2 – 29; 3,28–4,32 м/с^2 – 21; 4,32–5,36 м/с^2 – 21; 5,36–5,8 м/с^2 – 6; 5,8–8,1 м/с^2 – 12; более 8,1 м/с^2 – 3. Как минимум, торможения автомобилей в последних двух группах надо обязательно исключить, так как именно они являются причинами столкновений с ударом сзади. Для исключения описанных случаев по опытному РПК было предложено увеличить продолжительность переходного интервала, что, в свою очередь, привело к появлению случая $S_{\min} < S_{\min c} < S_{\max}$ [12]. Причем в этом случае наблюдается наличие двух активных зон дилеммы, которые совершенно не являются уже причинами аварийности, но только в том случае, когда водитель четко знает, какие решения ему необходимо принимать, попадая в каждую из них.

Анализ нормативных документов, регламентирующих движение попутного потока и работу технических средств организаций дорожного движения, показал, что сегодня отсутствуют какие-либо рекомендации (или правила) для обеспечения безопасного проезда автомобилей, находящихся в инертной зоне. Однако, определив конкретное местонахождение этой зоны, с помощью технических средств можно организовать движение так, чтобы нейтрализовать ее влияние.

Для того чтобы заставить водителей принимать решения, соответствующие тем зонам, в которых их застало переключение сигналов, необходимо с помощью постановки знака и разметок показать непосредственно сами эти зоны. Причем предписываемое этими техническими средствами решение должно соответствовать ряду требований: оно должно быть понятным для всех водителей; быть единственным и одинаковым для водителей, попавших в одну и ту же зону.

Причем определение для водителей единственно верного решения приводит к сокращению времени реакции и уменьшению величины замедления (при решении остановки), так как оно принимается на достаточном для остановки расстоянии.

Список литературы

- 1 **Лагерев, Р. Ю.** Совершенствование метода исследования столкновений с ударом сзади при подъезде к регулируемой перекрестку / Р. Ю. Лагерев, Д. П. Ходоскин // Молодежный вестник ИРГТУ. – 2011. – № 2. – С. 145–152.
- 2 **Ходоскин, Д. П.** Определение теоретического подхода при изучении столкновений с ударом сзади / Д. П. Ходоскин // 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.]. – Минск, 2011. – С. 43–50.

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

4 **Parsonson, P. S.** ITE Technical Committee 18 «Small-Area Detection at Intersection Approaches» / P. S. Parsonson // Institute of Transportation Engineers. – 1974. – P. 8–17.

5 **Zegeer, C. V.** Green-Extension Systems at High-Speed Intersections / C. V. Zegeer, R. C. Deen // Institute of Transportation Engineers. – 1978. – P. 19–24.

6 Timing Traffic Signal Change Intervals Based on Driver Behavior / V. S. Chang [et al.] // Transportation Research Board : National Research Council. – 1985. – No 1027. – P. 20–30.

7 A Policy on Geometric Design of Highways and Streets / American Association of State and Highway Transportation Officials. – 2004. – 357 p.

8 Evaluation of advance warning signals on high speed signalized intersections. – 2008. – 375 p. (MPC-03-155).

9 **Papacostas, C. S.** Transportation Engineering and Planning. Third edition published by Prentice Hall / C. S. Papacostas, P. D. Prevedouros. – 2001. – 462 p. – ISBN 0-13-081419-9.

10 Traffic detector handbook / FHWA Office of Operations. P. N. : FHWA-HOP-06-108. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2006. – 243 p.

11 **Скирко́вский, С. В.** Методы исследования аварийности на примере регулируемых перекрестков и пешеходных переходов г. Гомеля / С. В. Скирко́вский, Д. П. Ходоскин // Вестник Белорус. гос. ун-т трансп. : Наука и транспорт. – 2011. – № 1 (22). – С. 31–38.

12 **Ходоскин, Д. П.** Разработка методики для определения местоположения и борьбы с последствиями зоны дилеммы на примере регулируемого перекрестка г. Гомеля / Д. П. Ходоскин // Вестник Белорус. гос. ун. трансп. : Наука и транспорт. – 2011. – № 1 (22). – С. 39–44.

Получено 26.03.2012

D. P. Khadoskin. The location of dilemma zone: method, deficiencies in the current approach.

Of the currently available methods for studying the mechanism of collision with a blow behind the method is selected zone dilemma Given a clear definition of the zone and its characteristics. Revealed that there are a few of its forms: classical and physical. In accordance with the proposed improved method of this type are given other names, which are more fully and accurately characterize their relation to the conditions of Belarus. Abbreviated are currently available foreign and domestic technique to determine the location of the dilemma zone at the entrance to the controlled intersection (CCR), a yellow signal (YS). In the course of their investigation revealed that they all have serious drawbacks, such as approximate location of the desired zone, records only the width of the CCR, the presence of only the critical distance in the models, the lack of distance takes into account the magnitude of the transition interval, etc. Each of the defects was an explanation and, accordingly, the proposal to eliminate it. As a result, an improved model is proposed taking into account such important parameters as the value of the service slow and the duration of the transition interval.