

УДК 656.13; 656.051

**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ
ПО СНИЖЕНИЮ АВАРИЙНОСТИ В ПОПУТНОМ ТРАНСПОРТНОМ ПОТОКЕ****д-р техн. наук, доц. Д.В. КАПСКИЙ***(Белорусский национальный технический университет, Минск),***Д.П. ХОДОСКИН***(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)*

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) с материальным ущербом составляют более 90% от их общего количества, причем суммарные потери от них превышают потери от дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими, по экспертным оценкам, практически в 3 раза и продолжают возрастать. Анализ публикаций белорусских, а также ученых стран СНГ (Б.Е. Боровский, В.И. Васильев, А.В. Ноздричев и др.) показывает, что данному направлению внимание уделено недостаточно, по большей мере в контексте решения других задач организации дорожного движения. Зарубежные ученые (G.L. Chang, H. Chen, M.M. Abbas, A.Al-Mudhaffar, Д. Гейзис, Р. Херман и др.) хотя и рассматривали исследуемую проблему как самостоятельную, однако в их работах также отсутствует детальная ее проработка, которая может быть применена к современным условиям Республики Беларусь. В данной статье приведены положения по новым теоретико-методическим основам определения зоны дилеммы (и ее типов), механизма конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей при приближении к РПК, новой методики определения зоны дилеммы и практических рекомендаций по нейтрализации действия ее зоны и снижения уровня аварийности в попутном транспортном потоке.

Ключевые слова: попутный транспортный поток, зона дилеммы, аварийность, конфликтная зона, регулируемый перекресток.

Введение. В нашей стране среди общего количества ДТП, произошедших на регулируемых перекрестках (РПК) подавляющее большинство, принадлежит дорожно-транспортным происшествиям (ДТП) в попутном транспортном потоке (ТП), а именно – столкновениям с ударом сзади и попутным столкновениям (60–70% в Республике Беларусь, по данным зарубежной статистики аварийности – 35–60% ежегодно). Чаще всего такие ДТП происходят в попутном ТП на подходах к РПК и преимущественно при экстренном торможении лидирующего автомобиля. Причиной экстренного торможения в большинстве ситуаций является нахождение водителей в так называемой зоне дилеммы, которая возникает при смене разрешающего сигнала светофора.

Основная часть. В отечественных источниках¹ [1] зоной дилеммы называется отрезок дороги, попадая на который, водитель должен сделать выбор – либо ускориться и проехать перекресток, либо резко затормозить и остановиться перед стоп-линией. В первом случае высока вероятность ДТП с потоком, начинающим движение, во втором – ДТП в попутном потоке (столкновение с ударом сзади или попутное столкновение).

В работах [2; 3] делается вывод о необходимости выделения отдельных типов и даже подтипов зоны дилеммы. Таким образом, выделены:

– инертная зона дилеммы – при нахождении в ней водитель не может ни безопасно остановиться (с необходимостью применения аварийного замедления и с выездом за стоп-линию), ни безопасно пересечь перекресток (что с высокой вероятностью может привести к межфазным столкновениям);

– активная зона дилеммы – при нахождении в ней водитель может выбрать из двух вариантов – продолжить движение через перекресток либо остановиться перед стоп-линией, с разделением данной зоны согласно применяемой величине замедления на два подтипа:

- с замедлением больше служебного (определенного экспериментальными исследованиями и равного $3,28 \text{ м/с}^2$ [3], что с учетом улучшающихся за последние 20 лет состояния дорожного покрытия и тормозных качеств автомобилей более соответствует действительности, чем значения, указанные в источниках¹ [1], равного 2 м/с^2) и меньше аварийного либо равного ему, что с высокой вероятностью может привести к созданию очагов столкновений с ударом сзади и попутных столкновений;

- с замедлением меньше служебного или равного ему, что не создаст очагов аварийности по причине плановости выполнения маневра.

Новые теоретико-методические основы определения зоны дилеммы базируются на определении ее местоположения и типа с помощью трех расстояний: S_{\min} – минимальное расстояние до полной остановки у стоп-линии (при загорающемся ЖС) при использовании служебного замедления; $S_{\min.c}$ – минимальное расстояние до полной остановки у стоп-линии (при загорающемся ЖС) при использовании аварийного замедления; S_{\max} – максимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль может проехать перекресток в течение действия переходного интервала.

¹ Капский, Д. В. Совершенствование метода прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках для повышения безопасности дорожного движения : дис. ...канд. техн. наук : 05.22.10 / Д.В. Капский. – Минск, 2003. – 132 л.

Эта теория связана со следующими причинами: во-первых, не все автомобили, находящиеся в зоне дилеммы (при решении проезда), могут успеть проехать перекресток в течение действия переходного интервала (исходя из положений отечественного подхода² [1]), что приводит к столкновениям с потоком, начинающим движение, или наездам на пешеходов на удаленном пешеходном переходе (для которых загорается ЗС); во-вторых, на РПК вероятность столкновений в попутном ТП в значительной мере зависит от параметров светофорного регулирования – времени оповещения о смене сигнала светофора и величины переходного интервала (S_{max} – это и есть расстояние, характеризующее последний интервал). Варьируя данными расстояниями, можно определить местоположение, тип и подтип зоны дилеммы. Причем расстояния S_{min} и $S_{min,c}$ не меняют своего положения по отношению друг к другу (т.к. S_{min} будет всегда находиться ближе к стоп-линии, чем $S_{min,c}$). Меняет свое положение относительно остальных только расстояние S_{max} , т.к. оно зависит в т.ч. и от параметров светофорного регулирования и расстояния до конфликтной точки. Теоретически в методике возможно пять случаев [2–4], наиболее опасным из которых является соотношение расстояний $S_{max} < S_{min} < S_{min,c}$ (рисунок 1).

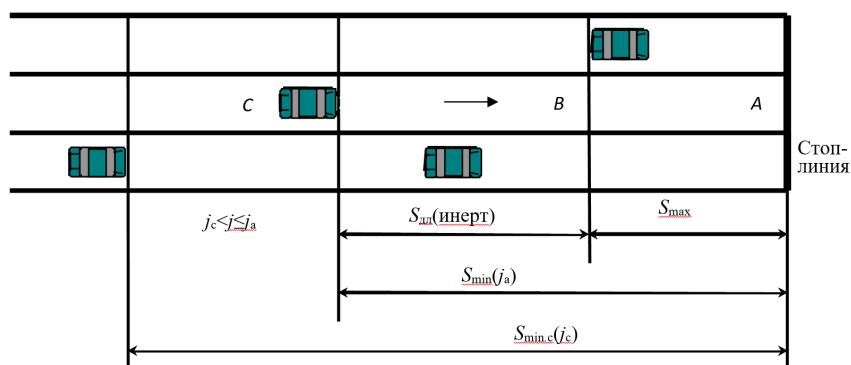


Рисунок 1. – Расположение инертной зоны дилеммы в случае $S_{max} < S_{min} < S_{min,c}$

На рисунке 1 зоне B возникает инертная зона дилеммы, т.е. водитель не сможет проехать безопасно перекресток, т.к. находится на расстоянии до стоп-линии большем, чем S_{max} , и не сможет безопасно остановиться у стоп-линии потому, что находится на расстоянии меньшем, чем S_{min} . Следовательно, в данном случае зона дилеммы ограничена расстояниями S_{min} и S_{max} . Опасными при этом являются зоны B и C, длина которых определяется как

$$S_{длB} = S_{min} - S_{max}, \tag{1}$$

$$S_C = S_{min,c} - S_{min}. \tag{2}$$

Таким образом, водителям автомобилей, находящихся в зонах A, B и C, необходимо предоставить возможность безопасного проезда перекрестка посредством увеличения продолжительности переходного интервала. Кроме того, водителю необходимо сообщить о ее наличии посредством нанесения ТСОДД, а именно – дорожной разметки (предложенной версии 1.1 – желтого цвета). Водителям, находящимся на расстоянии большем $S_{min,c}$, необходимо предоставить достаточно времени для выполнения запланированного торможения перед стоп-линией со служебным замедлением посредством обеспечения достаточной продолжительности времени оповещения водителя о смене сигнала светофора, а именно – такой установки светофоров, которая бы обеспечивала наибольшее расстояние их видимости – оптимально с выносом над каждой полосой (но возможны также и другие варианты, например, расположением на консольной опоре (Г-образной) с вертикальным или горизонтальным расположением сигналов).

Следовательно, управление ТП при подъезде к РПК при смене разрешающего сигнала светофора предопределяет работу с двумя группами автомобилей. Первая группа – это автомобили, проезжающие перекресток, вторая – совершающие остановку перед стоп-линией. Поэтому сутью предложений является обеспечение безопасных условий проезда для автомобилей, входящих в каждую из групп. Таким образом, основным регулирующим параметром для автомобилей первой группы является продолжительность переходного интервала, а для второй – время оповещения водителей о смене разрешающего сигнала светофора.

Для определения местоположения зоны (зон) дилеммы разработан соответствующий модуль, учитывающий все возможные соотношения искомых расстояний. Пример определения размеров конфликтной зоны при соотношении расстояний, указанных на рисунке 1, приведен на рисунке 2.

² Капский, Д. В. Совершенствование метода прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках для повышения безопасности дорожного движения : дис. ...канд. техн. наук : 05.22.10 / Д.В. Капский. – Минск, 2003. – 132 л.

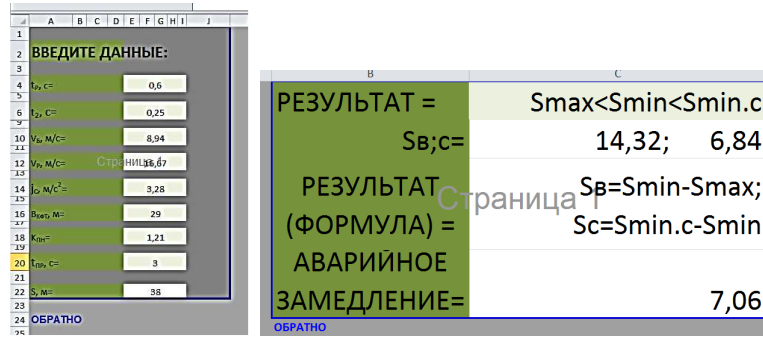


Рисунок 2. – Пример применения модуля алгоритма для определения местоположения зоны дилеммы

Для определения достаточности переходного интервала разработан соответствующий модуль (рисунок 3), основанный на новом формализованном механизме конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей при приближении к РПК с использованием следующей основной системы неравенств:

$$\begin{cases} S_A^\Phi \geq S_A + S_{0A}, \\ S_B^\Phi - l_B \geq S_{0B}, \\ S_\Delta \geq 1,5 \text{ м.} \end{cases} \quad (3)$$

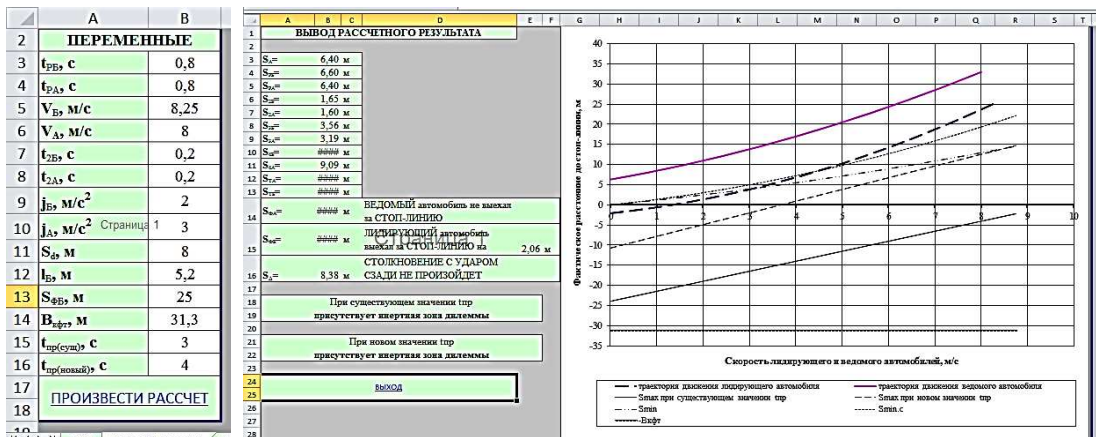


Рисунок 3. – Пример применения модуля алгоритма для определения достаточности переходного интервала

При соблюдении первого и второго неравенств выезда ведомого и лидирующего автомобилей за стоп-линию не произойдет. При соблюдении третьего неравенства – не произойдет столкновения с ударом сзади и не будет спровоцирована КФС. Столкновение с ударом сзади будет иметь место при $S_\Delta \leq 0$, а конфликтная ситуация в случае $0 < S_\Delta < 1,5$ [3; 4].

Именно за счет увеличения продолжительности переходного интервала водителям предоставляется достаточно времени для бесконфликтного проезда перекрестка или, более точная предложенная формулировка, до наиболее удаленной конфликтной точки (основным параметром в этом случае является $V_{кфт}$). Таким образом, для определения достаточности интервала предложен графический способ, в соответствии с которым анализируется соотнесение кривых S_{max} и $S_{min.c}$. При достаточной величине рассматриваемого интервала кривая S_{max} должна располагаться выше кривой $S_{min.c}$.

Основным параметром, влияющим на время оповещения о смене сигнала светофора, является фактическое расстояние видимости ТСР (S_B). Зависимость расстояния до стоп-линии от начальной скорости торможения автомобиля (аналогичная той, которая приведена на рисунке 3) (рисунок 4) может применяться для анализа достаточности времени оповещения ($t_{оп}$) на основе сравнения значения расстояний S_B и $S_{min.c}$ при различных значениях скоростей автомобилей. Продолжительность времени оповещения будет достаточной, если значение S_B будет больше $S_{min.c}$. При этом применяемое водителями замедление будет равно или менее служебного.



Рисунок 4. – Зависимость расстояния до стоп-линии от начальной скорости торможения автомобиля (при различных значениях скоростей)

При этом необходимо указать водителям с помощью ТСОДД возможность как безопасного проезда, так и безопасного торможения. Данная задача была разрешена предложением дорожной разметки. Исходя из принципов существующей в нашей стране системы дорожной разметки, для выделения указанной выше зоны может применяться разметка 1.1 (желтого цвета). Пример ее нанесения слева на каждой полосе указан на рисунке 5.

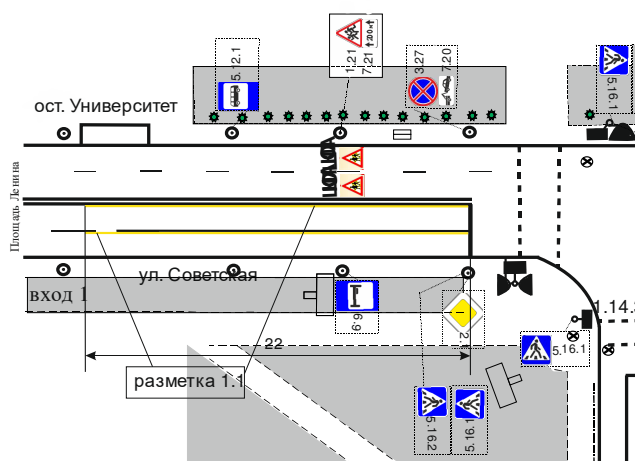


Рисунок 5. – Пример нанесения предложенной разметки на опытном перекрестке

Следовательно, для второй группы автомобилей (т.е. совершающих остановку перед стоп-линией и не достигших начала разметки 1.1) обеспечивается данная безопасная возможность, причем с замедлением меньше служебной величины. Данное мероприятие особенно ориентированно на неместных водителей. Увеличения фактического расстояния видимости ТСР и, как следствие, времени оповещения можно достигнуть следующими путями:

- 1) расположением светофоров не перед перекрестком справа от проезжей части, а либо перед перекрестком над проезжей частью (или над каждой полосой), либо за перекрестком над проезжей частью. При этом возможно использование как светофоров Т.1, так и Т.1.г.;
- 2) применением светофоров с размерами сигналов в диаметре 300 мм;
- 3) введением различных конструкций индикаторов, предоставляющих цифровую информацию об оставшемся времени горения разрешающего сигнала (либо до КС) начиная с 9–8 с.

Эти мероприятия (особенно 1) призваны улучшить видимость сигналов светофора водителями и существенно уменьшить помехи, создаваемые особенно крупногабаритным МТС, движущимся по крайним полосам.

Результатами применения некоторых, из указанных в статье мероприятий при организации координированного регулирования по ул. Советской в г. Гомеле, а также на ряде РПК гг. Минска, Витебска, Гродно, Могилева, Бреста, Мозыря, Барановичи и Бобруйска стали следующие

- устройство светофора на РПК с вертикальным расположением сигналов приводит к сокращению числа ДТП на 30%;
- устройство светофора на РПК с горизонтальным расположением сигналов приводит к сокращению числа ДТП на 26,7%;

- при наличии светофоров с индикаторами достигается сокращение числа ДТП на 21,7%.
- при оборудовании перекрестков, имеющих входы с полосами, на которых динамический коэффициент более 1,2, светофорами над проезжей частью достигается сокращение числа ДТП на 19%;
- вынос светофора над проезжей частью приводит к увеличению расстояния видимости на 20–40% и соответственно к увеличению времени оповещения порядка 35–50%;
- сокращение экономических и экологических потерь на перекрестках порядка 15% и увеличение пропускной способности на 5–10%.

Как было доказано результатами исследований, создаваемые МТС помехи достаточно значительны и согласно статистике приводят к росту ДТП в попутном ТП, поэтому в соответствии с предложенными мероприятиями выработаны и предложения в нормативно-правовые акты дорожного движения:

- положения пункта 10.6 подпункта 10.6.2³ дополнить абзацем:

При наличии на входе перекрестка полос с интенсивным движением МТС (коэффициентом приведения ТП более 1,2) светофоры Т.1, Т.1.г предпочтительно должны размещаться над проезжей частью на высоте 5–6 м;

- положения пункта 6.2 подпункта 6.2.3 б) дополнить абзацем:

Перед регулируемыми перекрестками с левой стороны полосы при необходимости выделить для водителей зону, попав в которую, водитель имеет безопасную возможность проехать перекресток при смене разрешающего сигнала светофора (имеет желтый цвет).

Годовой экономический эффект от внедрения определенного ряда мероприятий (из тех, которые были указаны выше) на двенадцати РПК г. Гомеля составил 84 795 бел. руб.

Необходимо отметить, что автором базовой методики отмечается необходимость ее совершенствования для других видов типовых объектов и конфликтов для различных режимов регулирования [5–7]. Вместе с тем, как показали исследования, данная методика доведена до практического внедрения и уже на данном этапе позволяет оценивать мероприятия и обосновывать решения по организации и безопасности дорожного движения [8–10].

Заключение.

1. Приведены некоторые новые положения теоретико-методических основ понятия и расположения зоны (зон) дилеммы.
2. Формализована и апробирована модель конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей при приближении к РПК в попутном ТП при смене разрешающего сигнала светофора.
3. Приведены результаты разработанного комплексного алгоритма, предназначенного для моделирования конфликтного взаимодействия лидирующего и ведомого автомобилей, для определения местоположения конфликтной зоны и прогнозирования приведенной аварийности в попутном ТП (относительная погрешность прогноза по новой методике не превышает 20%).
4. Разработана система мероприятий по снижению аварийности в попутном ТП (достигается снижение аварийности от 5 до 30%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Врубель, Ю.А. Организация дорожного движения. В 2 ч. / Ю.А. Врубель. – Минск : Беларус. фонд безопасности до-рож. движения, 1996. – Ч. 1. – 328 с.
2. Ходоскин, Д.П. Расположение зоны дилеммы: методика, недостатки существующих подходов / Д.П. Ходоскин // Вестн. Беларус. гос. ун-та транспорта. – 2012. – Вып. 1(24). – С. 32–38.
3. Лапский, С.Л. Разработка компьютерной модели прогнозирования столкновений с ударом сзади / С.Л. Лапский, Д.П. Ходоскин, Р.Ю. Лагеров // Вестн. Беларус. гос. ун-та транспорта. – 2011. – Вып. 2(23). – С. 49–54.
4. Ходоскин, Д.П. Совершенствование метода исследования столкновений с ударом сзади при подъезде к регулируемому перекрестку / Д.П. Ходоскин, Р.Ю. Лагеров // Молодеж. вестн. Иркутс. гос. техн. ун-та (интерн. верс.). – 2011. – Вып. 2. – С. 45–52.
5. Капский, Д.В. Разработка методики прогнозирования аварийности в дорожном движении / Д.В. Капский // Вестн. БНТУ. – 2004. – № 5. – С. 41–43.
6. Капский, Д.В. Разработка мероприятий по повышению безопасности движения на регулируемых перекрестках / Д.В. Капский // Вестн. БНТУ. – 2005. – № 1. – С. 55–58.
7. Кухаренок, Г.М. Повышение безопасности дорожного движения на основе оценки аварийности на конфликтных объектах / Д.В. Капский, Г.М. Кухаренок // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. Сер. Транспорт, машиностроение, металлургия, электротехника. – 2006. – № 3(12). – С. 33–38.
8. Капский, Д.В. Методика оперативной оценки эффективности мероприятий по повышению безопасности движения / Д.В. Капский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2011. – № 11. – С. 17–24.
9. Совершенствование организации дорожного движения на магистральной улице общегородского значения / Д.В. Капский [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2012. – № 3. – С. 15–20.

³ Технические средства организации дорожного движения. Правила применения = Технічныя сродкі арганізацыі дарожнага руху. Правілы прымянення : СТБ 1300-2014. – Введ. 01.01.2019. – Минск : Госстандарт : Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2019. – 144 с.

10. Капский, Д.В. Прогнозирование аварийности по потенциальной опасности – направления совершенствования / Д.В. Капский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2012. – № 11. – С. 67–73.

REFERENCES

1. Vrabel', YU.A. (1996). *Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya [Organization of traffic]*. Minsk: Belarus. fond bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. (In Russ.).
2. Khodoskin, D.P. (2012). Raspolozheniye zony dilemmy: metodika, nedostatki sushchestvuyushchikh podkhodov [Location of the dilemma zone: methodology, shortcomings of existing approaches]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universitetata transporta [Bulletin of the Belarusian State University of Transport]*, 1(24), 32–38. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Lapskiy, S.L., Khodoskin, D.P. & Lagerev, R.Yu. (2011). Razrabotka komp'yuternoy modeli prognozirovaniya stolknoveniy s udarom szadi [Development of a computer model for predicting collisions with a rear impact]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universitetata transporta [Bulletin of the Belarusian State University of Transport]*, 2(23), 49–54. (In Russ., abstr. in Engl.).
4. Khodoskin, D.P. & Lagerev, R.Yu. (2011). Sovershenstvovaniye metoda issledovaniya stolknoveniy s udarom szadi pri pod'yezde k reguliruyemomu perekrestku [Improving the method of studying collisions with a rear impact at the entrance to a controlled intersection]. *Molodezhnyy vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universitetata (Internet-versiya) [Youth Bulletin of the Irkutsk State Technical University (Internet version)]*, (2), 45–52. (In Russ., abstr. in Engl.).
5. Kapskiy, D.V. (2004). Razrabotka metodiki prognozirovaniya avariynosti v dorozhnom dvizhenii [Development of a methodology for predicting accidents in road traffic]. *Vestnik Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Belarusian National Technical University]*, (5), 41–43. (In Russ., abstr. in Engl.).
6. Kapskiy, D.V. (2005). Razrabotka meropriyatiy po povysheniyu bezopasnosti dvizheniya na reguliruyemykh perekrestkakh [Development of measures to improve traffic safety at regulated intersections]. *Vestnik Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Belarusian National Technical University]*, (1), 55–58. (In Russ., abstr. in Engl.).
7. Kapskiy, D.V. & Kukharenek, G.M. (2006). Povysheniye bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na osnove otsenki avariynosti na konfliktnykh ob'yektakh [Improving road safety based on the assessment of accidents at conflict sites]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta. Seriya Transport, mashinostroyeniye, metallurgiya, elektrotekhnika [Bulletin of the Belarusian-Russian University. Series Transport, mechanical engineering, metallurgy, electrical engineering]*, 3(12), 33–38. (In Russ., abstr. in Engl.).
8. Kapskiy, D.V. (2011). Metodika operativnoy otsenki effektivnosti meropriyatiy po povysheniyu bezopasnosti dvizheniya [Methods of operational assessment of the effectiveness of measures to improve traffic safety]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnyye nauki [Bulletin of the Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science]*, (11), 17–24. (In Russ., abstr. in Engl.).
9. Kapskiy, D.V., Kuz'menko, V.N., Korzhova, A.V., Gorelik, Ye.N. & Polkhovskaya, A.S. (2012). Sovershenstvovaniye organizatsii dorozhnogo dvizheniya na magistral'noy ulitse obshchegorodskogo znacheniya [Improving the organization of traffic on the main street of citywide significance]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnyye nauki [Bulletin of the Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science]*, (3), 15–20. (In Russ., abstr. in Engl.).
10. Kapskiy, D.V. (2012). Prognozirovaniye avariynosti po potentsial'noy opasnosti – napravleniya sovershenstvovaniya [Forecasting accidents by potential hazard - directions for improvement]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnyye nauki [Bulletin of the Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science]*, (11), 67–73. (In Russ., abstr. in Engl.).

Поступила 04.07.2022

DEVELOPMENT OF ACTIVITIES FOR REDUCING ACCIDENTS IN FOLLOWING TRAFFIC STREAM

D. KAPSKIY, D. KHODOSKIN

Accidents with material damage account for more than 90% of their total number, and the total losses from them exceed the losses from road traffic accidents with victims, according to expert estimates, by almost 3 times and continue to grow. An analysis of the publications of Belarusian, as well as scientists from the CIS countries (B.E. Borovsky, V.I. Vasiliev, A.V. Nozdrichev, etc.) shows that this direction insufficiently given, at least in the context of solving other problems of traffic management. Foreign scientists (G. L. Chang, H. Chen, M.M. Abbas, A. Al-Mudhaffar, D. Geyzis, R. Herman and others), although they considered the problem under study as an independent one, however, their works also lack a detailed study of it, which can be applied to the modern conditions of the Republic of Belarus. This article presents some provisions on the new theoretical and methodological foundations for determining the dilemma zone (and its types), the mechanism of conflict interaction between the leading and driven vehicles when approaching the RPK, a new methodology for determining the dilemma zone and practical recommendations for neutralizing the effect of the dilemma zone and reducing the accident rate in passing traffic.

Keywords: passing traffic flow, dilemma zone, accident rate, conflict zone, controlled intersection.