

## ОРГАНИЗАЦИЯ КОНФЛИКТНОГО ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА И ПЕШЕХОДОВ

**Кот Е.Н.**

**Капский Д.В.**

*Белорусский национальный технический университет*

---

Регулируемые перекрестки являются узловыми пунктами, определяющими пропускную способность улично-дорожной сети городов. Поэтому актуальной задачей является поиск приемов, позволяющих повысить пропускную способность перекрестка, снизить задержки и количество остановок транспортных средств с улучшением экологической ситуации на прилегающих территориях. Кроме того, большое количество перекрестков являются "очагами" аварийности, в том числе с участием пешеходов, характеризующимися наиболее тяжелыми последствиями. По данным статистики дорожно-транспортных происшествий (ДТП), проанализированных в 4 городах Республики Беларусь (Минске, Витебске, Гродно, Лиде) и двух крупных городах СНГ (Санкт-Петербурге и Алматы), доля аварий с участием пешеходов на регулируемых перекрестках достигает 10...17% от общего количества ДТП с пешеходами в целом по городу.

Светофорное регулирование на перекрестках в одном уровне предназначено для разделения транспортных (либо транспортных и пешеходных) потоков во времени. Однако полная ликвидация всех конфликтных точек требует применения сложных схем регулирования и приводит к резкому сокращению пропускной способности узлового пункта. Поэтому некоторые (менее опасные) конфликтные точки во многих случаях признаются допустимыми и сохраняются. К этой группе, как правило, относятся и конфликтные точки при взаимодействии транспортных потоков, выполняющих на перекрестках правый или левый повороты, с пешеходами, переходящими проезжую часть, на которую выполняется поворот. Особенностью таких конфликтов является однозначное предоставление Правилами дорожного движения преимущества незащищенным участникам движения – пешеходам, но использовать это преимущество следует с осторожностью, так как невыполнение водителями требований ПДД наносит наибольший ущерб именно пешеходам. Такие конфликты изучены недостаточно, основной объем исследований посвящен взаимодействию пешеходов с транспортными средствами, движущимися через перекресток в прямом направлении.

Целью выполненного исследования является изучение условий взаимодействия *поворотных транспортных и пешеходных потоков* на регулируемых перекрестках и определение реального уровня опасности для пешеходов, а также разработка методов и приемов, позволяющих повысить пропускную способность для поворотных направлений и безопасность движения пешеходов.

Исследованиями аварийности [1-3] установлено, что ДТП с участием поворотных транспортных средств составляют 8-10 % из всех наездов на пешеходов на регулируемых перекрестках, или 1-1,5 % от общего числа ДТП с пешеходами в городе. Поэтому для конфликта "поворотный транспорт – пешеход" формирование выборки аварий, объем которой будет достаточным для статистической значимости полученных результатов, требует

длительного периода сбора исходных данных, превышающего 10 лет. За такой период условия движения на исследуемых перекрестках существенно изменяются, и совместное использование данных, полученных в начале и конце периода анализа, затрудняется.

Поэтому для исследования условий движения при взаимодействии поворотных транспортных и пешеходных потоков дополнительно был использован метод конфликтных ситуаций – один из самых современных и быстро развивающихся методов исследования и прогнозирования аварийности на конфликтных объектах [4-7]. Он основан на существовании зависимости между количеством конфликтных ситуаций и аварий. Поэтому, подсчитав за относительно небольшое время количество конфликтных ситуаций на исследуемом объекте, можно определить не только количество возможных аварий, но и основные их причины.

Под конфликтной понимается такая дорожно-транспортная ситуация, при которой в последующий момент времени (менее 1 с) произойдет столкновение или иная коллизия, если хотя бы один из участников не предпримет экстренные уклончивые действия [6,7]. В исследуемом конфликте коллизией является наезд на пешехода.

По степени опасности конфликтные ситуации разделяются на легкие, средние и тяжелые. Применительно к конфликту "поворотный транспорт – пешеход" эта классификация выглядит следующим образом:

1. *Легкая* – водитель не уступил дорогу пешеходу, заставив его в последний момент (менее 1 с) резко остановиться или ускориться, либо автомобиль резко остановился перед конфликтной точкой;
2. *Средняя* – водитель не уступил дорогу пешеходу, заставив его в самый последний момент (менее 0,5 с) резко отпрыгнуть из конфликтной точки назад, вперед или вбок, либо автомобиль резко остановился в самый последний момент уже в конфликтной точке;
3. *Тяжелая* – водитель не уступил дорогу пешеходу, в результате чего произошел контакт транспортного средства с пешеходом, не повлекший, однако, расстройства здоровья.

Если водитель, конфликтуя с пешеходом, заблаговременно уступил ему дорогу, либо пешеход заранее отказался от приоритета, то такая дорожно-транспортная ситуация квалифицируется не как конфликтная, а как *потенциально-опасная*.

Для оценки характеристик исследуемого взаимодействия были введены два показателя – коэффициент конфликтности  $\eta_k$  и коэффициент нарушений  $\eta_n$ .

*Коэффициент конфликтности* определяется как доля поворотных транспортных средств, вступающих в конфликт с пешеходами:

$$\eta_k = \frac{n_k}{n} \leq 1,$$

где  $n_k$  – число транспортных средств, взаимодействующих (вступающих в конфликт) с пешеходами;  $n$  – общее число поворотных транспортных средств.

Коэффициент конфликтности оценивает качество схемы светофорного регулирования с точки зрения безопасности движения. Чем меньше  $\eta_k$ , тем "безопаснее" схема регулирования, а при  $\eta_k = 0$  она является полностью бесконфликтной.

*Коэффициент нарушений* определяется как удельное число конфликтных ситуаций или как доля транспортных средств, создающих конфликтную ситуацию по отношению к числу конфликтующих транспортных средств:

$$\eta_n = \frac{n_n}{n_k} \leq 1,$$

где  $n_n$  – число транспортных средств, создающих конфликтную ситуацию, т.е. не уступивших дорогу пешеходам.

Коэффициент нарушений характеризует вероятность возникновения конфликтной ситуации в конфликте "поворотный транспорт – пешеход" или вероятность перерастания потенциально опасной ситуации в конфликтную. Чем меньше  $\eta_n$ , тем меньше нарушений и безопаснее конфликт. При полном соблюдении требований ПДД  $\eta_n = 0$ .

Экспериментальное исследование конфликтных ситуаций проведено в общей сложности в течение 183 часов и охватило 131 пешеходный переход на регулируемых перекрестках Минска (население 1722 тыс. жителей) и 26 пешеходных переходов на перекрестках Гродно (население 312 тыс. жителей). Были зафиксированы условия конфликтного движения 16047 правоповоротных транспортных средств и 1651 левоповоротного транспортного средства. Из этой выборки 2314 дорожно-транспортных ситуаций были квалифицированы как потенциально опасные, а 1162 – как конфликтные ситуации, из числа которых 1144 отнесено к легким конфликтным ситуациям, 16 – к средним и 2 – к тяжелым.

В результате исследования установлены зависимости коэффициента конфликтности  $\eta_k$  и коэффициента нарушений  $\eta_n$  от некоторых параметров дорожного движения.

Коэффициент конфликтности  $\eta_k$  в основном определяется схемой светофорного регулирования и интенсивностью пешеходного потока. При "обычной" схеме, когда движение поворотных потоков разрешается одновременно с пешеходами, значение  $\eta_k = 0,32 \dots 0,41$ . Если движение поворотного потока разрешается в нескольких фазах светофорного цикла с переменным приоритетом (в одной фазе – в бесконфликтном режиме, а в другой – в конфликте с пешеходами), значение коэффициента  $\eta_k$  снижается до 0,13...0,18, так как часть транспортных средств выполняет поворот в период светофорного цикла, когда движение пешеходов по переходу запрещено. Уменьшение интенсивности пешеходного потока на переходе может привести к снижению коэффициента  $\eta_k$  практически до 0. Следует отметить, что в Гродно применение схем с переменным приоритетом обеспечило меньшие значения коэффициента  $\eta_k$ , чем в Минске.

Коэффициент нарушений  $\eta_n$  зависит от следующих характеристик дорожного движения:

- направления движения поворотных транспортных средств (направо или налево);
- состава поворотного транспортного потока;
- величины группы пешеходов, находящихся в конфликтной зоне перед поворотным транспортным средством;

- вида сигнала светофора, регулирующего поворотное движение;
- величины отнесения пешеходного перехода от параллельной проезжей части.

В левоповоротном транспортном потоке доля водителей, создающих конфликтные ситуации при взаимодействии с пешеходами, на 38% больше, чем в правоповоротном. Такое положение связано с более высокой скоростью движения левоповоротного потока и более сложными условиями его выполнения (необходимостью пропуска встречного прямого потока).

Для крупногабаритных транспортных средств доля водителей, создающих конфликтные ситуации, увеличивается, что объясняется увеличением разницы в характеристиках транспортного средства и пешехода, усложнением маневра торможения для крупногабаритного транспортного средства, а также ухудшением условий боковой видимости (особенно вправо) из кабины грузового автомобиля, автобуса и троллейбуса.

Наиболее опасным является переход проезжей части в одиночку. С увеличением количества пешеходов в группе доля водителей, создающих конфликтные ситуации, уменьшается, что объясняется более уверенным поведением пешеходов при групповом движении [6,8], а также уменьшением возможностей объезда группы транспортным средством.

На поведение водителей оказывает влияние вид сигнала светофора, регулирующего поворотное движение. Поворот направо по сигналу основного светофора характеризуется коэффициентом нарушений  $\eta_n = 0,21 \dots 0,28$ , при этом меньшее значение получено на перекрестках Минска. При движении направо по сигналу дополнительной секции светофора коэффициент нарушений возрастает более чем на 28% и достигает значений  $0,36 \dots 0,41$ . Различия являются статистически значимыми с уровнем значимости 0,05 (статистика нормального распределения  $U=2,82$  при  $U_{кр}=1,64$ ).

Отнесение пешеходного перехода от параллельной проезжей части увеличивает размеры зоны "накопителя" перед пешеходным переходом, улучшает условия его заполнения поворотными транспортными средствами, повышает пропускную способность правой полосы в прямом направлении. Однако при этом увеличиваются размеры перекрестка между противоположными "стоп"-линиями, и требуется соответствующее увеличение длительности переходных интервалов светофорного регулирования для обеспечения безопасности движения. В результате происходит снижение пропускной способности узла в целом и повышение уровня экономических и экологических потерь. Кроме того, удаление перехода позволяет поворотным транспортным средствам развивать на подходе к переходу более высокие скорости, при этом снижается готовность водителей остановиться для пропуска пешеходов и, как следствие, возрастает значение коэффициента  $\eta_n$ . Поэтому перед переходами, отнесенными от параллельной проезжей части на расстояние 30 м или более, для обеспечения безопасности пешеходов устанавливаются выходные светофоры и организуют дополнительную "стоп"-линию. Остановки и задержки транспортных средств перед такой "стоп"-линией в связи с жестким режимом регулирования происходят независимо от наличия пешеходов на переходе.

Полученные зависимости могут использоваться не только для оценки условий взаимодействия транспортных и пешеходных потоков на существующем объекте, но и для расчета вероятного числа ДТП в исследуемом конфликте при оценке проектируемой схемы организации дорожного движения:

$$P_a = N_{кф} \cdot \eta_{кф}, \text{ ав./год},$$

где  $N_{кф}$  – число измеренных конфликтных ситуаций;  $\eta_{кф}$  – коэффициент приведения от конфликтных ситуаций к авариям.

С учетом зависимостей формула преобразована в следующий вид:

$$P_a = Q_{пов} \cdot \Phi_2 \cdot \eta_k \cdot \eta_n \cdot \eta_{кф}, \text{ ав./год},$$

где  $Q_{пов}$  – интенсивность поворотного транспортного потока, авт./ч;  $\Phi_2$  – годовой фонд времени работы перекрестка в регулируемом режиме, ч/год.

Значения коэффициентов  $\eta_k$ ,  $\eta_n$  выбираются в зависимости от:

- интенсивности движения пешеходного потока и условий движения пешеходов (одиночные или групповые перемещения);
- направления движения поворотного транспортного потока (правый или левый поворот);
- проектируемой схемы светофорного регулирования (конфликтная, бесконфликтная, смешанная);
- технических средств, обеспечивающих организацию движения поворотного потока.

Значения коэффициентов  $\eta_{кф}$  для конфликта "поворотный транспорт – пешеход" определены в результате комплексного исследования аварийности и конфликтных ситуаций с учетом приведения ДТП по степени тяжести и конфликтных ситуаций по степени опасности. Для правоповоротного потока  $\eta_{кф}^{прв} \approx 0,27 \cdot 10^{-5}$ , для левоповоротного  $\eta_{кф}^{лев} \approx 0,33 \cdot 10^{-5}$ . По сравнению с данными других авторов [4, 5, 6, 9, 10], полученные значения  $\eta_{кф}$  для исследуемых конфликтов существенно меньше, так как в других работах более опасный конфликт "транспорт прямого направления – пешеход" и менее опасный "поворотный транспорт – пешеход" не разделялись, и полученные результаты, как правило, являлись общим для всех конфликтов транспортных средств и пешеходов.

По результатам исследования конфликтных ситуаций для улучшения условий взаимодействия правоповоротных транспортных потоков с пешеходами при смешанных схемах светофорного регулирования, включающих периоды конфликтного и бесконфликтного движения, разработаны дополнительные технические средства (информационные секции и информационные таблички), предупреждающие водителей правоповоротных транспортных средств о возможном конфликте с пешеходами [11-13].

Информационная секция представляет собой секцию светофора с бело-лунными символами правоповоротной стрелки и пешехода на черном фоне. Устанавливается под правой дополнительной секцией светофора, работает в мигающем режиме в период светофорного цикла, в котором организовано конфликтное движение пешеходного и правоповоротного транспортного потока. Применяется в случаях, когда период конфликтного движения правоповоротного потока следует за бесконфликтным, либо при постоянно разрешенном правоповоротном движении.

Информационная табличка является упрощенным вариантом информационной секции и представляет собой табличку белого цвета с черными символами правоповоротной стрелки и пешехода. Устанавливается под правой дополнительной секцией светофора. Может применяться в случаях, когда период бесконфликтного движения правоповоротного потока следует за конфликтным периодом.

Информационные секции и информационные таблички оказались понятными водителям и были положительно оценены ими, что подтверждено результатами социологического исследования [14]. Положительные результаты подтвердились при исследовании конфликтных ситуаций на регулируемых перекрестках Минска и Гродно. После установки новых технических средств значения коэффициента нарушений  $\eta_n$  снизились до уровня 0,19...0,26.

Различия между значениями  $\eta_n$ , полученными для условий регулирования только сигналом правой дополнительной секции светофора и таким же сигналом, дополненным информационной секцией или информационной табличкой, являются статистически значимыми с уровнем значимости 0,05 ( $U$ -статистика = 3,91).

Информационные секции и информационные таблички включены в Государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 1300-2002 "Технические средства организации дорожного движения. Правила применения"[15,16] и новую редакцию Правил дорожного движения Республики Беларусь, введенных в действие с 1.06.2003 г.[17]. По состоянию на 1.01.2005 общее количество установленных информационных секций и табличек в городах Республики Беларусь превысило 65 шт. Применение смешанных схем светофорного регулирования правоповоротного движения на перекрестках уже обеспечивает уменьшение экономических и экологических потерь дорожного движения на сумму более 1,1 млрд. белорусских рублей (более 500 тыс.\$) ежегодно. При этом на пешеходных переходах, оборудованных новыми техническими средствами, за весь период исследований с 1991 г. зафиксировано только одно ДТП с участием правоповоротного транспортного средства и пешехода.

В настоящее время выполняется анализ существующих схем светофорного регулирования на перекрестках с трехфазным или многофазным регулированием (в Республике Беларусь количество таких перекрестков превышает 200) для более широкого применения смешанных схем светофорного регулирования правоповоротных потоков с установкой информационных секций или табличек. Ожидаемый годовой экономический эффект от снижения задержек и остановок транспортных средств в целом для Республики Беларусь превысит 4 млрд. белорусских рублей.

## **Выводы**

Результаты исследований конфликтных ситуаций свидетельствуют о высокой опасности для пешеходов, исходящей от левоповоротных транспортных средств, движущихся по сигналу левой дополнительной секции светофора в конфликтном режиме с пешеходами ( $\eta_n=0,75$ ). Поэтому планируется внесение изменений в нормативные документы с целью обеспечить движение левоповоротных транспортных потоков, движущихся по сигналу левой дополнительной секции светофора, только в бесконфликтном режиме, в т.ч. и без конфликта с пешеходами.

## Литература

1. Михайлов А.Ю. Влияние режима регулирования на поведение пешеходов// Безопасность дорожного движения: Тезисы научной конференции, Таллинн, 14–15 ноября 1990 г./ Таллиннский технический университет, МАДИ. – Таллинн, 1990. – С. 166-168.
2. Михайлов А.Ю. Уровни относительной аварийности на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети городов. ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. 10.05.90 № 204-ад 90.
3. Кот Е.Н. Конфликтные ситуации "пешеход – поворотный транспорт"// Материалы Республиканской НПК "Современные проблемы автомобильного транспорта". Красноярск, 1991. – С. 110.
4. Ludvigsen H.S. Traffic Conflicts Experience in Denmark// TRRL Supplementary Report. – 1980. – № 557. – P. 107-114.
5. Шештокас В.В., Насутавичус Р.А. Оценка опасности дороги методом конфликтных ситуаций// Автомобильные дороги/– 1984./ – № 8 – С.4–10.
6. Шештокас В.В., Самойлов Д.С. Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах. М.: Транспорт, 1987. – 207 с.
7. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения. В двух частях. Часть 1. – Мн. Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 328 с.
8. Клебельсберг Д. Транспортная психология. Пер. с нем. – М.: Транспорт, 1989. – 367 с.
9. Врубель Ю.А. Потери в дорожном движении: – Минск: БНТУ, 2003. – 380с.
10. Zimolong B., Gstalter H. Gefahrenkognition bei Fahrzeug-Fussgänger-Konflikten. // Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 1984. – №2, p. 62-66.
11. Кот Е.Н. Регулирование движения пешеходных и поворотных транспортных потоков// Материалы 47 научно-технической конференции БПИ, посвященной 70-летию БПИ. В 3-х частях. Ч.1, Мн., 1992. – С.52.
12. Кот Е.Н. Технические средства информирования водителей на регулируемых пересечениях./ Материалы Международной 53 научно-технической конференции БГПА. В 4-х частях. Ч. 1, Минск, 1999. – С.111.
13. Кот Е.Н. Совершенствование технических средств информирования водителей на регулируемых пересечениях // Материалы 54-й международной НТК «Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно – хозяйственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения», в 10-ти частях, ч. 8. Мн: Изд-во БГПА, 2000. – С.169.
14. Кот Е.Н, Шамрук Е.А., Юшкевич Н.А. Оценка водителями новых технических средств на регулируемых пересечениях // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. на междунар. научн.- практ. конф., Гомель, 18-20 окт. 2000 г./ Белорус. Госуд. университет транспорта. – Гомель, 2000. – С. 127.
15. Кот Е.Н. Совершенствование нормативной базы по применению технических средств организации дорожного движения// Автотракторный факультет на рубеже столетий: Сб. докл./ Под редакцией Н.М. Капустина – Мн: УП «Технопринт», 2002. – С.62.
16. СТБ 1300-2002 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения. Мн.: Госстандарт, 2002. – 96 с.
17. Закон Республики Беларусь о дорожном движении. Правила дорожного движения (Новая редакция). – Мн.: Беларусь, 2003. – 160с., ил.