

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ, СОВЕРШАЕМЫХ В МЕЖФАЗНЫХ РЕЖИМАХ ПРИ СВЕТОФОРНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ**

**Карпиевич Ю.Д.**

**Мозалевский Д.В.**

**Лукьянчук А.Д.**

*Белорусский национальный технический университет*

---

Аварийные потери – одни из наиболее существенных потерь в дорожном движении [1, 2], и ущерб от них в развитых странах достигает 1% внутреннего валового продукта. Около 75 % аварий возникает в городах, при этом больше половины из них происходит в зоне перекрестков, причем наиболее тяжкие столкновения на перекрестках при передаче права на движения от одного транспортного конфликтного направления к другому [3,4].

Целью выполнения работ является исследование подходов анализа конфликтного взаимодействия транспортных средств на регулируемых перекрестках в межфазном режиме при производстве судебной автотехнической экспертизы.

На перекрестке различаются три основных режима конфликтного взаимодействия: нерегулируемый, внутрифазный и межфазный.

Нерегулируемый режим на регулируемом перекрестке имеет место тогда, когда интенсивность движения конфликтующих транспортных потоков падает настолько, что уже не удовлетворяет нормативные требования по введению светофорного регулирования. Это бывает поздно вечером, ночью и ранним утром, либо в выходные или праздничные дни. В это время поцикловое регулирование на перекрестке уступает место режиму желтого мигания, т.е. нерегулируемому. Если же светофорное регулирование выходит из строя при полной нагрузке, т.е. если имеет место нештатная ситуация, то такие случаи не рассматриваются и аварии при таких режимах не учитываются.

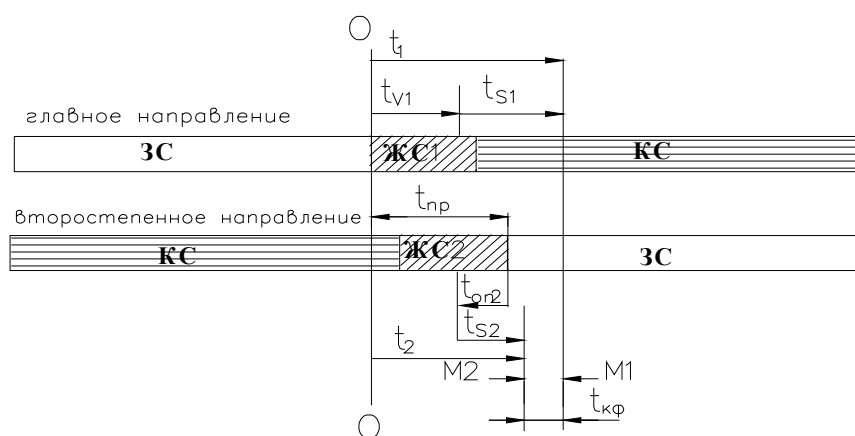
Внутрифазный режим движения имеет место тогда, когда в рамках одной фазы, т.е. постоянного горения определенной комбинации сигналов светофора, разрешено конфликтное движение двух пересекающихся или сливающихся потоков. В частности, это может быть пересечение левоповоротного и транзитного встречного потоков, либо слияние в одну полосу левоповоротного и правоповоротного потоков, либо слияние правоповоротного и попутного транзитного потока при горении зеленой стрелки на дополнительной секции светофора.

Межфазный режим имеет место при смене фаз регулирования, когда транспортные средства предыдущего направления еще продолжают двигаться через конфликтную точку, а транспортные средства последующего направления уже начали двигаться через эту же конфликтную точку. Этот режим движения очень кратковременный, часто очень скоростной и зависит, в основном, от правильного выбора переходных интервалов, т.е. времени между выключением зеленого сигнала в предыдущем направлении и включением зеленого сигнала в последующем направлении. В каждом светофорном цикле имеются два межфазных режима движения – в первом из них второй поток движется после первого, а во втором – первый поток движется после второго. Поскольку при светофорном регулировании принято, что главным

является предыдущее направление, а второстепенным – последующее, то каждый из потоков в межфазном режиме выступает один раз как главный, а второй раз – как второстепенный.

Очевидно, что межфазные конфликты образованы конфликтующими транспортными потоками, движущимися в разных фазах, и возникают при смене сигналов светофора. При исследовании данного вида конфликтов необходимо четкое определение времени, в котором взаимодействуют конфликтующие транспортные потоки претендующие на занятие одной и той же пространственной точки.

Конфликтное время ( $t_{кф}$ ) – время, в течение которого имеется возможность конфликтного движения двух конфликтующих транспортных потоков, которые движутся в разноименных фазах светофорного цикла (рис. 1). Именно в течение данного времени главные конфликтующие участники еще могут не освободить конфликтную точку, продолжая движение, а второстепенные конфликтующие участники, начав движение на зеленый сигнал светофора (или чуть раньше), уже могут достигнуть этой конфликтной точки. Конфликтное время определяется отдельно для каждой исследуемой конфликтной точки.



**Рисунок 1** – Структура конфликтного времени [2, 3]  
главное направление (1) – направление предыдущей фазы; второстепенное (2) – направление последующей фазы

Поясним рис. 1:

0–0 – момент выключения зеленого сигнала для первого (главного) конфликтующего потока (или момент включения желтого сигнала  $t_{жс1}$ ) – точка отсчета конфликтного времени;

$t_{np}$  – переходной интервал – время между выключением зеленого сигнала в предыдущем направлении и включением его в последующем направлении;

$t_{v1}$  – время с момента включения желтого сигнала (ЖС1) до проезда последним главным конфликтующим участником стоп–линии;

$t_{s1}$  – время с момента проезда стоп–линии до момента освобождения конфликтной точки главным конфликтующим участником;

$t_1$  – суммарное время с момента включения желтого сигнала до момента освобождения конфликтной точки главным конфликтующим участником;

$t_{on2}$  – время опережения второстепенным конфликтующим участником момента включения зеленого сигнала на второстепенном направлении (ЗС2);

$t_{s2}$  – время с момента пересечения второстепенным участником стоп-линии до момента достижения им конфликтной точки;

$t_2$  – суммарное время с момента выключения зеленого сигнала для главного направления (ЖС1) до момента достижения конфликтной точки второстепенным конфликтующим участником;

$t_{кф}$  – конфликтное время;  $t_{кф} = t_1 - t_2$ .

$M1$  – момент освобождения конфликтной точки главным конфликтующим участником;

$M2$  – момент достижения второстепенным конфликтующим участником конфликтной точки.

Основные вопросы, которые ставит на исследование эксперту орган, ведущий процесс, следующие:

На какой сигнал светофора водитель автомобиля въехал на перекресток?

Как должны были действовать в условиях данной дорожной обстановки водители автомобилей-участников аварии?

Соответствовали ли действия водителей участников аварии требованиям Правил дорожного движения?

Рассмотрим следующую аварию: на перекрестке Ванеева и Рокоссовского произошло столкновение автомобилей Шкода Октавия и БМВ-525. Дорожное покрытие – сухой горизонтальный асфальтобетон. Очевидец 1 пояснил, что он начал движение на разрешающий сигнал светофора вместе с автомобилем БМВ. Очевидец 2 пояснил, что в момент происшествия по ул.Ванеева включился зеленый сигнал светофора. В ходе проведения эксперимента установлено, что с момента включения зеленого сигнала светофора время движения автомобиля БМВ-525 составило 3 с, 3,1 с и 2,9 с. Со слов водителя скорость движения автомобиля Шкода Октавия составляла 45-50 км/ч. На момент происшествия в обоих автомобилях находились только водители. В момент аварии левая задняя часть автомобиля Шкода Октавия контактировала с передней частью автомобиля БМВ-525, расстояние от передней части автомобиля Шкода Октавия до места ее контакта с автомобилем БМВ-525 составляет 2,78 м.

Опасность для водителя автомобиля БМВ-525 возникает с момента пересечения автомобилем Шкода Октавия границы проезжей части, на которой находился автомобиль БМВ-525.

Как следует из данных отношения и дополнения, автомобиль БМВ-525 до момента столкновения двигался 2.9...3.1 с. Согласно показаниям очевидца 1 автомобиль БМВ-525 начал движение на зеленый сигнал светофора, согласно показаниям очевидца 2 в момент включения зеленого сигнала светофора по ул.Ванеева произошло столкновение. Так как данные показания исключают друг друга, то необходимо рассмотрение двух вариантов.

Как следует из схемы происшествия, расстояние от места столкновения до правой по ходу движения автомобиля БМВ-525 границы проезжей части ул.Ванеева составляет 10 м. С учетом того, что место контакта на боковой поверхности автомобиля Шкода Октавия расположено

на расстоянии 2,78 м от ее передней части, следует заключить, что с момента выезда на проезжую часть ул. Ванеева до столкновения автомобиль Шкода Октавия преодолел расстояние около 12,78 м (10+2,78).

Исходя из скорости движения автомобиля Шкода Октавия 45...50 км/ч время движения с момента пересечения границы проезжей части ул. Ванеева до столкновения определяется по следующей формуле:

$$t = \frac{S}{V_A} \cdot 3,6 ,$$

где	$S$ – величина пройденного транспортным средством пути, м:	12,78	12,78
	$V_A$ – скорость движения транспортного средства, км/ч:	45,0	50,0
	$t$ – время преодоления транспортным средством пути $S$ , с:	1,0	0,9

Таким образом, время движения автомобиля Шкода Октавия с момента выезда на проезжую часть ул. Ванеева до момента столкновения определяется равным 0,9...1 с, исходя из показаний свидетеля 1 и результатов эксперимента.

Для привязки движения автомобилей БМВ-525 и Шкода Октавия к сигналам светофора на рис. 1 согласно предоставленному графику режима работы светофорного объекта на пр. Рокоссовского – ул. Ванеева построена диаграмма режима работы светофоров № 9 (регулирующего движение автомобиля БМВ-525 непосредственно перед местом ДТП) и № 24 (регулирующего движение автомобиля Шкода Октавия непосредственно перед местом ДТП).

Далее, исходя из имеющихся данных, на диаграмму поочередно нанесем:

момент начала движения автомобиля БМВ-525, совпадающий с моментом включения для его направления зеленого сигнала светофора;

момент столкновения автомобилей, определенный исходя из времени движения автомобиля БМВ-525 до столкновения (2,9...3,1 с);

момент выезда автомобиля Шкода Октавия на проезжую часть ул. Ванеева, определенный из установленного выше времени движения указанного автомобиля с момента его выезда на проезжую часть ул. Ванеева до момента столкновения (0,9...1 с).

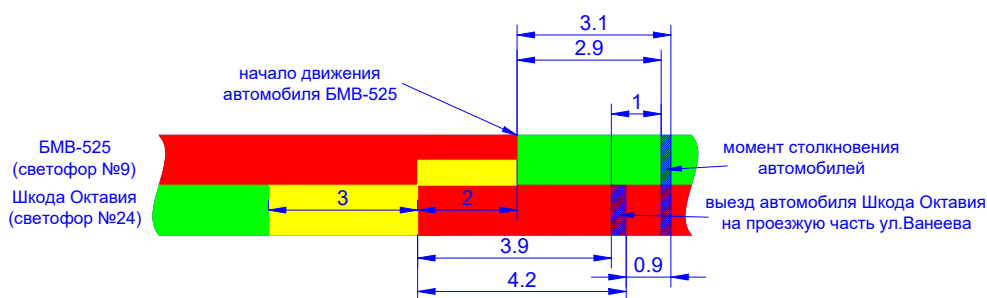


Рисунок 2 – Фрагмент диаграммы светофорного цикла

Как следует из анализа построений на рис. 2, из показаний очевидца 1 следует, что автомобиль Шкода Октавия въезжал на проезжую часть ул. Ванеева на красный сигнал светофора спустя 3,9...4,2 с с момента его включения.

Для решения вопроса на рис. 3 также построена диаграмма режима работы светофоров № 9 и № 24, на которую нанесены:

момент столкновения автомобилей, совпадающий с моментом включения по ул. Ванеева зеленого сигнала светофора;

момент выезда автомобиля Шкода Октавия на проезжую часть ул. Ванеева, определенный по установленному выше времени движения указанного автомобиля с момента его выезда на проезжую часть ул. Ванеева до момента столкновения (0,9...1 с);

момент начала движения автомобиля БМВ-525, определенный по времени его движения до столкновения (2,9... 3,1 с).

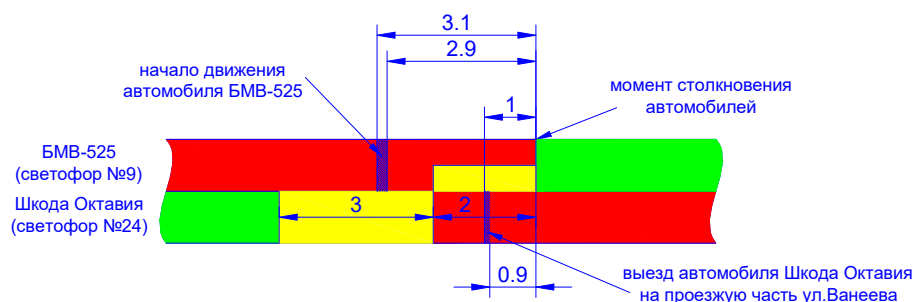


Рисунок 3 – Фрагмент диаграммы светофорного цикла

Как следует из анализа построений на рис. 3, и показаний очевидца 2, автомобиль Шкода Октавия въезжал на проезжую часть ул. Ванеева на красный сигнал светофора спустя 1...1,1 с с момента его включения.

Водитель автомобиля Шкода Октавия въезжала на пересекаемую проезжую часть ул. Ванеева на красный (запрещающий) сигнал светофора № 24, на линии которого на растяжке установлен знак 5.33 "Стоп-линия".

В рассматриваемой ситуации водитель автомобиля Шкода Октавия Небосько Л.В. должна была руководствоваться требованиями п. 39.3, 39.5 и п. 48, с учетом п. 50 Правил дорожного движения.

Согласно п. 39.3 и 39.5 «...ЖЕЛТЫЙ СИГНАЛ предупреждает о предстоящей смене сигналов и запрещает движение, кроме случаев, указанных в подпунктах 50.1, 50.2, пункта 50 и пункте 106 настоящих Правил;»,

«...КРАСНЫЙ СИГНАЛ, в том числе мигающий (или два мигающих красных сигнала), запрещает движение».

Согласно требованиям п. 48 Правил при запрещающем сигнале регулировщика или светофора водители должны остановиться перед дорожным знаком «Стоп-линия»...

Согласно требованиям ч.1 п. 50 Правил дорожного движения при включении желтого сигнала водителям, которые не могут остановиться, не прибегая к экстренному торможению, в местах, определенных пунктами 48 и 49 настоящих Правил, разрешается дальнейшее движение.

Таким образом, для оценки действий водителя автомобиля Шкода Октавия применительно к п. 39.3 и п. 48 Правил необходимо установить, имела ли водитель с момента включения желтого сигнала техническую возможность остановиться перед знаком «Стоп-линия» (5.33) (линией светофора № 24), не прибегая к экстренному торможению.

Согласно методических рекомендаций величина замедления данной категории автомобилей на сухом асфальтобетонном покрытии при экстренном торможении при производстве автотехнических исследований принимается равной  $6,9 \text{ м/с}^2$ .

Обычно при служебном торможении в экспертной практике величина замедления автомобиля принимается равной половине от величины замедления при экстренном торможении, то есть в данном случае  $6,9/2=3,45 \text{ м/с}^2$ .

Остановочный путь автомобиля Шкода Октавия при экстренном и служебном торможении можно определить по следующей формуле:

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_A}{3,6} + \frac{V_A^2}{25,92 \cdot J} ,$$

		<i>экстренное торможение</i>	<i>служебное торможение</i>
где	$t_1$ – время реакции водителя транспортного средства в условиях места происшествия, с:	0,60	0,60
	$t_2$ – время запаздывания срабатывания тормозного привода транспортного средства, с:	0,20	0,20
	$t_3$ – время нарастания замедления транспортного средства, с:	0,25	0,25
	$V_A$ – скорость движения транспортного средства, км/ч:	45,00	50,00
	$J$ – установившееся замедление транспортного средства в условиях места происшествия, $\text{м/с}^2$ :	6,90	3,45
	$S_0$ – остановочный путь транспортного средства в условиях места происшествия, м:	22,90	34,20

Таким образом, величина остановочного пути автомобиля Шкода Октавия в условиях места происшествия при применении экстренного и служебного торможения определяется равной при скорости 45 км/ч около соответственно 22,9 м и 34,2 м, при скорости движения 50 км/ч 26,8 м и 40,8 м.

Как установлено, с момента выезда на проезжую часть ул. Ванеева до столкновения автомобиль Шкода Октавия преодолел расстояние около 12,78 м. Согласно схеме происшествия расстояние от линии светофорной стойки до границы проезжей части ул. Ванеева составляет 1 м.

Следовательно, с момента пересечения линии светофорной стойки до места наезда автомобиль Шкода Октавия преодолел расстояние  $12,78 + 1 = 13,78$  м. Время прохождения данного расстояния определяется по следующей формуле:

$$t = \frac{S}{V_A} \cdot 3,6 \quad ,$$

где	$S$ – величина пройденного транспортным средством пути, м:	13,78	13,78
	$V_A$ – скорость движения транспортного средства, км/ч:	45,00	50,00
	$t$ – время преодоления транспортным средством пути $S$ , с:	1,10	1,00

С учетом изложенного время движения автомобиля Шкода Октавия с момента включения желтого сигнала светофора до момента пересечения им стойки светофора определяется равным:

исходя из показаний свидетеля 1 (см. рис. 2):  $3+2+2,9-1,1 = 6,8$  с при скорости 45 км/ч или  $3+2+2,9-1 = 6,9$  с при скорости 50 км/ч;

исходя из показаний свидетеля 2 (см. рис. 3):  $3+2-1,1 = 3,9$  с при скорости 45 км/ч или  $3 + 2 - 1 = 4,0$  с при скорости 50 км/ч.

Удаление автомобиля Шкода Октавия от линии светофорной стойки в момент включения желтого сигнала светофора определяется по следующей формуле:

$$S_A = \frac{V_A \cdot T_{II}}{3,6}$$

где		<i>по показаниям свидетеля 1</i>		<i>по показаниям свидетеля 2</i>	
	$V_A$ – скорость движения автомобиля Шкода Октавия, км/ч:	45,00	50,00	45,00	50,00
	$T_{II}$ – время движения автомобиля Шкода Октавия с момента включения желтого сигнала до светофорной стойки, с:	6,80	6,90	3,90	4,00
	$S_A$ – удаление автомобиля Шкода Октавия от стойки светофора в момент включения желтого сигнала, м:	85,00	95,80	48,80	55,60

Таким образом, величины удаления автомобиля Шкода Октавия от линии светофорной стойки в момент включения желтого (запрещающего) сигнала светофора во всех случаях превышают соответствующие величины остановочного пути данного автомобиля при служебном торможении.

Следовательно, водитель автомобиля Шкода Октавия располагала технической возможностью остановиться перед линией светофорной стойки (знаком 5.33) в момент включения желтого сигнала светофора, ее действия не соответствуют указанным требованиям Правил дорожного движения.

Как следует из показаний свидетеля 1, автомобиль БМВ-525 начал движение на зеленый (разрешающий) сигнал светофора.

В данном случае водитель автомобиля БМВ-525 должен был руководствоваться требованиями п. 87.2 и п. 107 Правил дорожного движения.

Согласно требованиям п. 87.2 Правил «...при возникновении препятствия или опасности для движения, которые водитель в состоянии обнаружить, он обязан немедленно принять меры к снижению скорости движения, вплоть до остановки транспортного средства».

Как установлено, время движения автомобиля Шкода Октавия с момента его выезда на проезжую часть ул.Ванеева (с момента возникновения опасности для водителя автомобиля БМВ-525) до столкновения составляло 0,9...1,0 с.

Согласно методическим рекомендациям время реакции водителя на выезд транспортного средства на запрещающий сигнал светофора в экспертной практике принимается равным 1,2 с, что превышает время, имевшееся с момента возникновения опасности в распоряжении водителя автомобиля БМВ-525 для предотвращения столкновения (0,9...1,0 с).

Следовательно, можно заключить, что водитель автомобиля БМВ-525 не располагал технической возможностью предотвратить столкновения с автомобилем Шкода Октавия с момента выезда последнего на проезжую часть ул.Ванеева и его действия не противоречили, с технической точки зрения, требованиям п. 87.2 Правил дорожного движения.

Согласно требованиям п. 107 Правил дорожного движения «при включении разрешающего сигнала светофора водитель должен уступить дорогу транспортным средствам, завершающим движение через перекресток, и пешеходам, не закончившим перехода проезжей части дороги».

В соответствии с п. 7.2 Правил («...каждый участник дорожного движения, соблюдающий настоящие Правила, вправе рассчитывать на то, что и другие участники дорожного движения будут выполнить содержащиеся в них требования...») водитель автомобиля БМВ-525 вправе был рассчитывать, что водитель автомобиля Шкода Октавия будет выполнять требования п. 48 и 39 Правил дорожного движения.

Так как действия водителя автомобиля Шкода Октавия не соответствовали требованиям указанных пунктов, а у водителя автомобиля БМВ-525 отсутствовала техническая возможность предотвратить столкновение с автомобилем Шкода Октавия, то следует заключить, что действия водителя не противоречили требованиям п. 107 Правил дорожного движения в рассматриваемой дорожно-транспортной ситуации.

## **Вывод**

Помимо проводимого исследования конфликтного взаимодействия автомобилей при межфазных конфликтах, экспертам нужно оценить и недостатки организации дорожного движения – достаточность переходного интервала для передачи права на движение



конфликтующим участникам. Возможно, экспертам помимо информации, предоставляемой СМЭП (специализированным монтажно-эксплуатационным предприятием или управлением), в виде паспортов светофорных объектов, запрашивать результаты оптимизации светофорных циклов, выполненных проектировщиками, для их последующей проверки (соответствующего перерасчета по результатам исследования конфликтного взаимодействия).

Как показывает статистика, до 60 % аварий в межфазном режиме происходит из-за несоблюдения водителями требований Правил дорожного движения, касающихся проезда регулируемых перекрестков.

При производстве экспертом исследований необходимо, помимо постановления (отношения или определения) органа, ведущего процесс, владение всеми материалами, имеющимися в деле, поскольку анализ отдельных показаний, объяснений может прояснить суть рассматриваемой аварии и специфику возникновения конфликтной ситуации, а также причины перерастания ее в аварийную.

## Литература

1. Аналитический сборник по аварийности. – Мн.: Полиграфический Центр МВД РБ, 2005. – 80 с.
2. Капский Д.В. Прогнозирование аварийности на регулируемых конфликтных объектах // Безопасность дорожного движения Украины. – Киев: ГНИЦ БДД ДДПСММ МВС Украины. – 2005. – № 3–4 (21). – С. 78-88.
3. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения. В двух частях. – Мн.: Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 634 с.
4. Врубель Ю.А. Потери в дорожном движении. – Мн.: БНТУ, 2003. – 380 с.
5. Врубель Ю.А., Капский Д.В., Кот Е.Н. Определение потерь в дорожном движении. Мн.: РИО БНТУ, 2006. – 252 с.