



# Мотивы поведения водителей при смене полосы движения



Михаил ЯКИМОВ

Mikhail R. YAKIMOV

## The Motives of Drivers' Behavior when Changing Lanes

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 196)

**В контексте психофизиологической модели поведения водителя автомобиля рассматривается место поведенческой ситуации «смена полосы» в общем наборе факторов, влияющих на продолжительность транспортной корреспонденции. Дается определение манёвра необходимой смены полосы собственным транспортным средством. С помощью математических расчётов и натурного видеонаблюдения исследуется изменение движения других транспортных средств при осуществлении перестройки на многополосной трассе.**

**Ключевые слова:** автомобиль, дорога, поведение водителя, манера езды, психофизиологическая модель, транспортный поток, смена полосы.

*Якимов Михаил Ростиславович – доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, Россия.*

**Д**вижение – обязательный компонент в жизни любого человека, а движение в XXI веке в крупных городах невозможно представить без транспорта – настолько большими стали осваиваемые нами расстояния. Причем масштабы перемещений таковы, что любой из пользователей транспортных средств оказывается в самых разных дорожных ситуациях.

## ТИПИЧНОЕ В ИНДИВИДУАЛЬНОМ

Транспортные корреспонденции осуществляются современным человеком едва ли не каждый день, и нельзя сказать, что продолжительность их всегда одинакова. Однако можно выделить несколько основных факторов, влияющих на выбор того или иного варианта.

Перед определением факторов стоит отметить, что дорожное движение состоит из движения отдельных автомобилей и транспортных потоков и является результатом взаимодействия элементов комплекса «автомобиль–водитель–дорога–среда» («АВДС») [1]. Вследствие этого факторы можно разделить на три группы соответственно элементам комплекса:

1. Характеристики проезжаемого участка улично-дорожной сети (расстояние между

начальной и конечной точкой, количество полос на проезжих частях, наличие регулируемых и нерегулируемых развязок, состояние дорожного покрытия и др.);

2. Технические характеристики транспортного средства. Здесь стоит отметить, что неизбежная модификация парка заставляет вести и поддерживать постоянный мониторинг меняющихся характеристик транспортного потока.

3. Особенности в манере управления автомобилем со стороны водителя.

И действительно, поведение водителя в различных ситуациях можно поставить в один ряд с другими факторами, которые, на первый взгляд, имеют большее влияние на ту же продолжительность транспортной корреспонденции. Активная роль человека в осуществлении транспортной корреспонденции заключается в планировании, принятии решения, выходе из определенной дорожной ситуации и, чаще всего, в быстрой переработке разнообразной информации в условиях ограниченности времени. Именно ему при этом принадлежит оценка опасности и обеспечение безопасности при управлении автомобилем [2].

Проведено множество исследований влияния особенностей характера водителя на управление автомобилем. Так, А. А. Макенов в [3] выявляет зависимость между манерой вождения машины и принадлежностью человека к тем или иным группам психологического типа. В результате выборочного тестирования водителей транспортных средств была выделена та психологическая группа — холериков, которая наиболее предрасположена к рисковому управлению автомобилем. А. А. Осеев в [4] исследует зависимость между чертами характера водителя (смелостью, повышенными моральными нормами, уравновешенностью, творческим воображением) и особенностями управления им автомашиной.

В основном же агрессивности за рулем подвержены люди, находящиеся под влиянием постоянных психологических стрессов, а также те, кто ощущает на себе сильное давление эмоций. Иногда это приводит к выплеску негативных эмоций на окружающих, зачастую нервный человек, и не желая этого, не в состоянии контролировать свои эмоции [5], что проявляется в пренебрежении дистанцией

безопасности по отношению к впереди идущему транспортному средству (далее — ТС), игнорировании предупреждающего сигнала светофора на регулируемых перекрестках, резком перестроении по полосам движения.

Все особенности поведения за рулем имеют огромное влияние на продолжительность транспортной корреспонденции и объединены психофизиологической моделью поведения водителя.

Психофизиологическую модель можно рассматривать как набор типовых поведенческих ситуаций:

1) Поведение водителя при следовании за идущим впереди ТС.

2) Поведение водителя ТС при смене полосы.

3) Поведение водителя по отношению к ТС, расположенным сбоку.

4) Реакция водителя на переключение сигналов светофором.

В данном случае нами не ставится цель исследовать каждый из этих модельных типов, наш интерес касается прежде всего поведения водителя при маневре смены полосы и сопутствующих ему изменениях в движении других ТС. Причина понятна: смена полосы характеризуется взаимодействием сразу нескольких участников дорожного движения, и особенности поведения водителей в столь напряженной ситуации проявляются наиболее явно. В сравнении, например, с соблюдением дистанции безопасности по отношению к впереди идущему ТС.

### **«ПРИОРИТЕТ» ШЕСТИ СЕКУНД**

К поставленным в исследовании задачам относятся:

— определение маневра необходимой смены полосы;

— изучение условий осуществления маневра (их выявление и расчет);

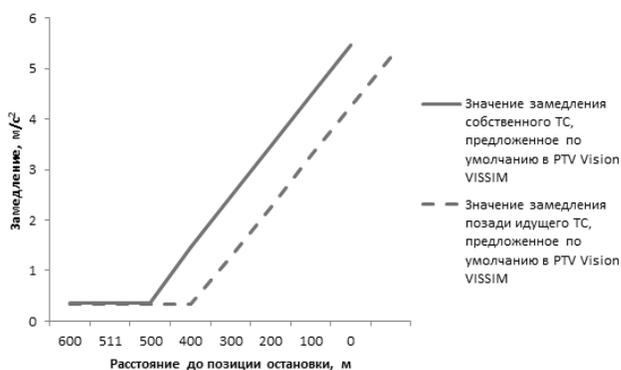
— изучение взаимодействия водителей ТС при осуществлении маневра смены полосы (форма, варианты и расчет на участке улично-дорожной сети в момент времени).

В анализе процесса смены полосы используются следующие базовые термины.

*Маневр смены полосы* — выезд транспортного средства из занимаемой полосы с сохранением первоначального направления движения.



**Рис. 1. График функции изменения замедления при осуществлении манёвра необходимой смены полосы при расчётных значениях параметров.**



**Собственное ТС** — транспортное средство, водитель которого имеет намерение осуществить маневр смены полосы.

**Впередиидущее ТС** — транспортное средство, движущееся перед собственным транспортным средством по той же полосе.

**Позадиидущее ТС** — транспортное средство, движущееся за собственным транспортным средством по той же полосе.

**Первый автомобиль** промежутка на полосе — транспортное средство, движущееся первым в промежутке на желаемой полосе, в который имеет намерение встроиться водитель собственного транспортного средства при осуществлении маневра смены полосы.

**Второй автомобиль** промежутка на полосе — транспортное средство, движущееся вторым в промежутке на желаемой полосе, в который имеет намерение встроиться водитель собственного транспортного средства при осуществлении маневра смены полосы.

**Желаемая полоса** — полоса движения, на которую имеет намерение перестроиться водитель собственного транспортного средства при осуществлении маневра смены полосы.

**Позиция вынужденной остановки** — точка на занимаемой полосе, в которой вынужден будет остановиться водитель собственного транспортного средства, если ему не удастся осуществить маневр смены полосы.

**Промежуток на полосе** — дистанция между автомобилями, следующими друг за другом на желаемой полосе.

**Приемлемый промежуток** на полосе — дистанция между автомобилями, следующими друг за другом на желаемой полосе, которая позволит собственному ТС осуществить маневр смены полосы.

Стоит отметить, что важна и причина, по которой водитель ТС принимает решение о предстоящем маневре. В зависимости от этой причины смена полосы может классифицироваться двояко:

1. Произвольная смена полосы — это маневр смены полосы, осуществляемый водителем ТС для получения большей свободы движения или более высокой скорости.

2. Необходимая смена полосы — это маневр смены полосы, осуществляемый водителем ТС с целью в дальнейшем совершить маневр по изменению направления движения.

В обоих случаях, когда водитель принимает решение совершить маневр смены полосы, главным условием для этого становится наличие достаточного интервала времени — приемлемого промежутка на желаемой полосе. Проверка наличия приемлемого промежутка обычно происходит в условиях замедления собственного ТС. При этом:

1. Происходит последовательное замедление собственного ТС вплоть до позиции вынужденной остановки.

2. Следующий за собственным ТС автомобиль в этот момент наблюдает за маневром и начинает процесс торможения [6].

В совокупности поведение водителей при смене полосы можно представить в виде графика, содержащего функции замедления собственного и позадиидущего ТС в зависимости от расстояния до позиции вынужденной остановки (рис. 1).

Напомним, что слияние двух транспортных потоков возможно при наличии приемлемого промежутка на желаемой полосе. Однако не каждый промежуток на полосе будет являться приемлемым. К примеру, при максимальной интенсивности движения ТС

Таблица 1

## Распределение промежутков на полосе между автомобилями, сек.

№ ТС \ № мин	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1,8	1,9	1,9	1,7	2,8	1	1,3	2	1,4	0,9	1,1	0,9	2,3	1,8	1,3	1,8	1,7	1,5	1	0,9
2	2,5	1,7	8,7	1,4	0,8	2,9	3,2	1,2	1,1	1,6	1,7	1,9	1,7	1,8	1,8	1,2	1,6	1,1	1,2	1,1
3	1,3	0,6	1,9	2,5	1,1	1,2	2,9	1,3	0,6	1,9	1,5	1,9	9,6	1,5	1,2	1,3	9,7	2,5	2,3	2,1
4	1,9	1,6	1,8	1,2	2	1,2	1,1	1,8	1,5	2,5	1,4	2	3,1	2	1,5	3,5	8,6	3,5	2,9	1,7

№ ТС \ № мин	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	0,9	1,7	1,4	1,5	0,7	1,6	1,3	1,4	2,5	1,9	1,9	1,3	1	2,3	1,3	1,2	2,2	2,1	0,3
2	1,5	1,4	1,6	1,8	1	1,7	1	1,9	2,5	1,1	1,2	2,9	-	-	-	-	-	-	-
3	1	2,5	1,4	1,2	2,4	2,1	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	9,5	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

по одной полосе (600 авт./час) средняя величина промежутка на полосе равна примерно 6 секундам.

Надо полагать, 6 секунд – возможно, недостаточное время для совершения маневра смены полосы. Однако в силу того, что транспортный поток движется неравномерно (по причине светофорного регулирования, пешеходного движения через проезжие части и прочее), величина промежутков на полосе может как уменьшаться, так и увеличиваться. Практика показывает, что даже при высокой плотности движения имеются приемлемые для совершения маневра смены полосы промежутки времени.

### ПРОВЕРКА НА ДОРОГАХ

Автором с коллегами было проведено специальное исследование распределения промежутков на полосе в 4-минутном диапазоне времени для одной из улиц Перми. Обследование проводилось с записей камер видеонаблюдения, входящих в состав АСУДД (автоматизированной системы управления дорожным движением).

Исследование проводилось следующим образом:

1. Засекалось время (сек.) с начала видеофрагмента до момента въезда в зону видимости первого ТС.

2. Фиксировалось время (сек.) с момента въезда в зону видимости первого ТС до момента въезда в зону видимости второго ТС, то есть время, которое также характеризует промежуток на полосе между автомобилями. Операция повторялась на протяжении 5 минут.

Параллельно с исследованием распределения промежутков на полосе учитывалась и средняя скорость транспортного потока.

В результате были получены значения времени, наблюдаемые между моментами въезда автомобилей в зону видимости (таблица 1). Эти цифры касаются транспортного потока, движущегося со скоростью 45,5 км/ч. Из таблицы видно, что в основном продолжительность промежутков на полосе между автомобилями составляет не более 3 секунд, но встречаются также промежутки и по 9 секунд.

Следующим шагом стало определение величины приемлемого промежутка на полосе между автомобилями на желаемой полосе. Величина промежутка должна быть такой, которая позволит собственному ТС осуществить маневр смены полосы.

Прежде чем переходить к расчету, стоит заметить, что взаимодействие автомобилей в зоне слияния транспортных потоков происходит следующим образом: собственное ТС (0) движется в ожидании приемлемого промежутка ( $\Delta d$ ) на основной (желаемой) полосе, по которой автомобильный поток движется со скоростью  $V_m$ . И произвести маневр перестроения надо таким образом, чтобы не создать препятствий для ТС, едущих по желаемой полосе. То есть те не должны тормозить, пропуская собственное ТС, но и столкновения тоже не должно произойти.

Продолжительность приемлемого промежутка на полосе можно представить при помощи суммы двух величин:

$$\Delta d = d_1 + d_2, \quad (1)$$

где  $\Delta d$  – продолжительность приемлемого промежутка на полосе (сек.);



Таблица 2

**Расчётные значения функции изменения замедления при осуществлении манёвра необходимой смены полосы**

Расстояние до позиции вынужденной остановки, м	Расчётное значение собственного ТС	Расчётное значение позадиидушего ТС
600	0,35	0,33
500	0,35	0,33
400	1,46	1,25
300	2,46	2,25
200	3,46	3,25
100	4,46	4,25
0	5,43	5,25

$d_1$  – продолжительность промежутка между первым автомобилем приемлемого промежутка и собственным ТС (сек.);

$d_2$  – продолжительность промежутка между вторым автомобилем приемлемого промежутка и собственным ТС (сек.).

В свою очередь,  $d_1$  опять же можно разделить на несколько составляющих:

1. Продолжительность реакции водителя собственного ТС ( $T_{реак_0}$ ) и продолжительность приведения в действие тормозной системы ( $T_{торм_0}$ ). В сумме эти два показателя – 1 секунда.

2. Статический габарит собственного ТС ( $g_{авт_0}$ ) и минимальный зазор безопасности между автомобилями ( $g_{авт_1-0}$ ). Сумма двух показателей была принята как 4,5 м.

3. Разность тормозных путей первого автомобиля при приемлемом промежутке на полосе и собственного ТС ( $l_{авт_0} - l_{авт_1}$ ). Эта разность была вычислена с учетом коэффициентов эксплуатационных условий торможения заднего и переднего автомобилей (1,8), скорости транспортного потока на основной полосе, а также коэффициентов сцепного веса (0,5), сцепления шин с поверхностью дороги (0,7), дорожного сопротивления (0,425) и обзорности (1,8). В результате разность тормозных путей – 1,5 секунды.

Соответственно методом сложения составляющих была получена продолжительность промежутка  $d_1$ :

$$d_1 = 1 + 4,5 + 1,5 = 7 \text{ сек.} \quad (2)$$

Для получения  $\Delta d$  необходимо также рассчитать промежуток  $d_2$ , который включает:

1. Время реакции водителя собственного ТС ( $T_{реак_0}$ ) и время приведения в действие тормозной системы ( $T_{реак_0}$ ). В сумме эти два показателя – 1 секунда.

2. Минимальный зазор безопасности между автомобилями в отношении к средней скорости транспортного потока желаемой полосы. В результате расчета установлена величина – 0,004.

3. Разность тормозных путей первого автомобиля и собственного ТС ( $l_{авт_2} - l_{авт_1}$ ). Она вычислена с учетом коэффициентов эксплуатационных условий торможения заднего и переднего автомобилей (1,8), а также коэффициентов сцепного веса (0,5), сцепления шин с поверхностью дороги (0,7), дорожного сопротивления (0,425) и обзорности (1,8). В результате разность тормозных путей – 1,5 секунды.

Соответственно методом сложения составляющих была получена продолжительность промежутка  $d_2$ :

$$d_2 = 1 + 0,04 + 1,5 = 2,54 \text{ сек.} \quad (3)$$

Напомним, что приемлемый промежуток представляет собой сумму промежутков  $d_1$  и  $d_2$ . Тогда:

$$\Delta d = 7 + 2,54 = 9,54 \text{ сек.} \quad (4)$$

## В ОЖИДАНИИ МАНЁВРА

Нужно отметить, что часть показателей, входящих в состав приемлемого промежутка, является неизменной в зависимости от скорости движения ТС и состояния дорожного покрытия, а часть изменяется с учетом тяговых и скоростных характеристик автомобиля. К постоянным показателям относятся интервал безопасности, габариты автомобиля. Переменные величины (время разгона, остановочный путь) зависят от мощностных характеристик двигателя, эффективности тормозной системы с учетом износа рабочих элементов и состояния дорожного покрытия [7].

При сравнении полученного значения приемлемого промежутка  $\Delta d$  в 9,54 секунды с распределением промежутков, представленных в таблице 1, было выявлено пять приемлемых промежутков. При этом время их ожидания значительно отличаются друг от друга – время ожидания первого приемлемого промежутка невозможно определить, время второго – 74, третьего – 13,7, четвертого – 57,5, пятого – 16,6 секунды. По этим значениям получено среднее время ожидания, которое равняется 40,55 секунды.

Не следует забывать, что при ожидании приемлемого промежутка на полосе для осуществления маневра смены полосы собствен-

ное ТС не стоит на месте, а движется по проезжей части. Чтобы получить расстояние, которое оно проезжает в ожидании приемлемого промежутка, необходимо среднее время ожидания умножить на скорость ТС:

$$S = V \cdot t = 40,55 \cdot 12,6 = 510,93 \approx 510 \text{ м.} \quad (5)$$

Однако одного значения расстояния недостаточно, чтобы полностью охарактеризовать маневр смены полосы. Нужно знать и значение приемлемого замедления.

В нашем случае его нашли с помощью исследования замедлений для разных скоростей. Впрочем, нас в первую очередь интересовало замедление, наблюдаемое при скорости в 45,5 км/ч, установленной по условиям изучения приемлемых промежутков на полосе. Значение это — 0,35 м/с<sup>2</sup>.

Максимальное замедление было получено из исследования технически возможного режима. При скорости в 45,5 км/ч оно составляет 5,43 м/с<sup>2</sup>.

Кроме того, в графике изменения замедления при осуществлении маневра необходимой смены полосы учитывается еще и функция замедления позадиидущего ТС. Если впередиидущий автомобиль тормозит, то и идущий позади него тоже должен тормозить. При этом замедление позадиидущего может осуществляться не на таком расстоянии, как замедление собственного ТС. Так, если замедление собственного ТС происходило на 510 метрах, то позадиидущего на расстоянии, равном

$$S_{\text{позадиидущ}} = S_{\text{собств}} - d, \quad (6)$$

где  $S_{\text{позадиидущ}}$  — расстояние, на котором будет происходить замедление позадиидущего ТС;

$S_{\text{собств}}$  — расстояние, на котором происходит замедление собственного ТС при осуществлении маневра смены полосы (принято как 510 м);

$d$  — промежуток на полосе между  $S_{\text{позадиидущ}}$  и  $S_{\text{собств}}$  (принято как 20 м).

Было выявлено, что расстояние, которое пройдет в замедлении позадиидущее ТС, равняется 490 м.

Максимальное замедление и приемлемое замедление позадиидущего ТС также должно несколько отличаться от значений собственного ТС. Они были рассчитаны при помощи отношения  $S_{\text{позадиидущ}}$  к  $S_{\text{собств}}$ :

$$S_{\text{позадиидущ}} = 0,96 \cdot S_{\text{собств}} \quad (7)$$

На основе значений максимального и приемлемого замедления, которые были приняты как ограничивающие, и расстояния, которое пройдет собственное ТС во время ожидания приемлемого промежутка на полосе, получены значения функции изменения замедления при осуществлении маневра необходимой смены полосы (таблица 2).

## ВЫВОДЫ

В ходе исследования был осуществлен расчет условий осуществления маневра смены полосы, изменений в движении собственного транспортного средства и позадиидущего ТС. Полученные результаты можно использовать для определения возможностей автомобиля на любом участке улично-дорожной сети, а также при моделировании движения транспортных потоков, проведении комплексных исследований поведения водителя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев С. А. Влияние параметров транспортного потока на повышение уровня безопасности дорожного движения // Наука и техника транспорта. — 2004. — № 4. — С. 30–35.
2. Доля В. К., Волобуева Т. В. Математическая модель поведения водителя в стрессовых ситуациях // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. — 2008. — № 1. — С. 4–14.
3. Макенов А. А. Принятие решения водителем транспортного средства с учетом его психологического типа // Вестник МАДИ. — 2013. — № 2. — С. 92–96.
4. Осеев А. А. Роль характера водителя в снижении аварийности на автомобильном транспорте // Вестник Московского университета. Серия 18: Социология и политология. — 2005. — № 3. — С. 151–169.
5. Трофимов А. В., Пуляевская О. В. Влияние транспортных заторов на поведение водителей // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2015. — № 6/2. — С. 187–188.
6. Корягин М. Е., Поздняков В. В., Протодьяконов А. В. Социально-экономическая модель смены полосы как часть системы имитационного моделирования транспортных потоков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2011. — № 6. — С. 96–97.
7. Цветков Г. А., Хлюпин А. С., Шевченко А. Е. Методика определения интервала безопасности автомобильной системы помощи при перестроении // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета: Безопасность и управление рисками. — 2015. — № 2. — С. 67–72.
8. Якимов М. Р., Арельева А. А. Определение технических характеристик: масса и мощность транспортных средств, входящих в состав транспортных потоков крупных городов на примере г. Перми // Образование и наука в современных условиях. — 2015. — № 4. — С. 229–232.

Координаты автора: **Якимов М. Р.** — auto@perm.ru.

Статья поступила в редакцию 25.01.2016, принята к публикации 20.04.2016.

