



# Влияние поведенческого фактора водителя на образование транспортного затора



Владимир БАСКОВ



Дарья КРАСНИКОВА



Екатерина ИСАЕВА

*Басков Владимир Николаевич – Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина (СГТУ им. Ю. А. Гагарина), Саратов, Россия.*

*Красникова Дарья Андреевна – Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина (СГТУ им. Ю. А. Гагарина), Саратов, Россия.*

*Исаева Екатерина Игоревна – Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина (СГТУ им. Ю. А. Гагарина), Саратов, Россия\*.*

Движение в автомобильном потоке подразумевает вовлечение в сложные дорожные ситуации, отрицательно влияющие на время реакции водителя, которая в свою очередь учитывается при определении тормозного пути транспортного средства и определяет безопасность дорожного движения. Эта взаимосвязь показывает влияние поведения водителей в транспортном потоке на дорожно-транспортную ситуацию.

Целью исследования было изучение поведенческих факторов, влияющих на принятие водителями решений. В ходе исследования использованы методы моделирования поведения водителей, математического моделирования, экспериментальные исследования психических и психологических функций водителей.

Моделирование поведения водителя с учётом различного сочетания множества поведенческих и иных факторов приводит к большому количеству вариантов математического описания такого поведения, что затрудняет применение данного подхода при описании поведения водителей в условиях реальной улично-дорожной сети.

Проанализированы работы, посвящённые изучению управляющего воздействия водителя с использованием неизвестных коэффициентов, описывающих модель движения транспортных средств с учётом точности управления им. Рассмотрен наиболее сложный и показательный вариант поведения водителя при проезде нерегу-

лируемого пересечения. Установлено, что при моделировании транспортного потока необходимо учитывать степень решительности водителей (через определение коэффициента решительности – случайную величину с учётом распределения вероятности его значения в совокупности с распределением вероятностей функции интенсивности транспортного потока). Проанализировано распределение коэффициента решительности водителей, полученное по экспериментальным данным.

Определено, что на формирование транспортного затора оказывает влияние стиль вождения, для оценки которого используют условную классификацию поведения водителей на дороге, а именно проявление агрессии и робости. При изучении поведения робких и агрессивных водителей рассмотрено несколько пар траекторий движения и динамика соответствующей плотности транспортного потока, которые рассчитаны на основе модели Edie's. Подтверждено, что наибольшее отрицательное влияние транспортные заторы оказывают на водителей-холериков и на водителей-сангвиников. Кроме того, прослеживается взаимосвязь между временем реакции водителя и изменением его функционального состояния.

Сделан вывод, что в целях повышения безопасности дорожного движения за счёт более точной оценки возможных рисков возникновения заторовых ситуаций необходимо учитывать поведенческие характеристики водителей и их темпераменты.

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, транспортный затор, транспортный поток, улично-дорожная сеть, поведенческие факторы водителей, стили вождения, темперамент, решительность водителей, безопасность дорожного движения.

\*Информация об авторах:

**Басков Владимир Николаевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой организации перевозок, безопасности движения и сервиса автомобилей Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина (СГТУ им. Ю. А. Гагарина), Саратов, Россия, baskov@mail.ru.

**Красникова Дарья Андреевна** – кандидат экономических наук, доцент, кафедры организации перевозок, безопасности движения и сервиса автомобилей Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина (СГТУ им. Ю. А. Гагарина), Саратов, Россия, dasha747@yandex.ru.

**Исаева Екатерина Игоревна** – кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок, безопасности движения и сервиса автомобилей Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина (СГТУ им. Ю. А. Гагарина), Саратов, Россия, katherina3@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.05.2019, актуализирована 16.08.2019, принята к публикации 30.08.2019.

For the English text of the article please see p. 277.

## ВВЕДЕНИЕ

Водители являются важнейшим элементом в моделях транспортного потока (ТП). Поведенческий фактор в области принятия решения в большинстве случаев определяется условиями движения в ТП. Сам процесс принятия решения включает в себя неопределённое количество составляющих, которые зависят от опыта вождения, пола и возраста водителя, психофизиологических качеств водителя, погодных-климатических условий, технико-эксплуатационного состояния дороги, технического состояния и динамических свойств транспортного средства (ТС), показателей ТП, параметров дороги и т.д.

Моделирование поведения водителя с учётом различного сочетания многообразия этих факторов приводит к большому числу вариантов математического описания данного поведения, что проанализировано авторами в работе [1]. Этот факт делает невозможным применение математического подхода к описанию поведения водителей на улично-дорожной сети (УДС) в рамках моделирования движения транспортных потоков в условиях города, где на дорогах движутся десятки тысяч автомобилей [2, 3].

«Преодоление таких «узких мест» в движущемся потоке, как перекрёстки, вовлечение в сложные дорожные ситуации, транспортные заторы негативным образом сказывается на времени реакции водителя» [4]. Время реакции водителя оказывает значительное влияние на длину тормозного пути ТС, особенно это касается экстренного торможения. Все эти параметры входят в динамический габарит автомобиля, который является одним из факторов, определяющих безопасность дорожного движения.

С возрастанием скорости движения увеличивается динамический габарит автомобиля, состояние обратное ему приводит к уменьшению пропускной способности, а в итоге к образованию транспортного затора за счет увеличения времени реакции водителей. Эта взаимосвязь показывает, каким образом влияет поведение водителей в транспортном потоке на дорожно-транспортную ситуацию.

Целью исследования является определение влияния различных поведенческих факторов на действия водителя транспорт-

ного средства, особенно ведущие к образованию дорожного затора.

Имеется большое количество работ, посвящённых изучению управляющего воздействия водителя, учитывающих различные коэффициенты, которые описывают модель движения ТС с учётом точности управления им. С помощью такого подхода можно достичь высокой достоверности при проведении анализа управляемости и устойчивости автомобиля во время ускорения (в тяговом режиме), торможения и в режиме свободного качения. Во время моделирования движения каждого ТС в транспортном потоке вышеперечисленные условия движения составляют многокомпонентную модель с десятком неизвестных коэффициентов, использовать которые при моделировании достаточно сложно.

В связи с этим для использования в моделях движения транспортного потока поведенческого фактора водителя, следует упростить входящую информацию, то есть модель поведения и принятия решения водителя можно свести к *стохастическим моделям* транспортного потока [5]. Стохастические модели транспортного потока характеризуются вероятностью проезда определенного количества автомобилей через сечение дороги, к чему применимо распределение Пуассона:

$$P_n(t) = \frac{(t)^\lambda}{n} e^{-t}, \quad (1)$$

где  $P_n(t)$  – вероятность проезда  $n$ -го количества транспортных средств за время  $t$ ;

$\lambda$  – параметр распределения (интенсивность ТП), авт./с;

$t$  – длительность отрезков наблюдения, с;

$n$  – количество наблюдаемых ТС.

На основе *теории вероятности* можно задать вероятность принятия того или иного решения в условиях движения транспортного потока. Распределение вероятностей принятия решений необходимо определять *экспериментальным путём*.

## ПОВЕДЕНИЕ ВОДИТЕЛЕЙ НА НЕРЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЁСТКЕ

Наиболее сложным и показательным будет поведение водителей при проезде нерегулируемого пересечения (рис. 1).

«Поведение водителя, который подъехал к перекрёстку по второстепенной



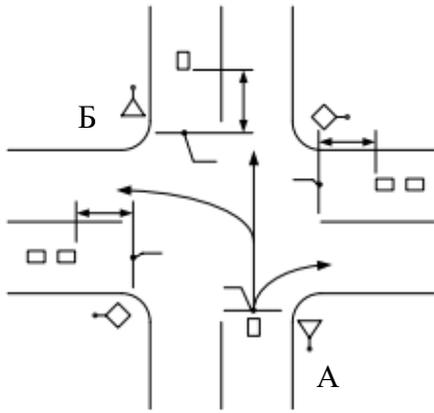


Рис. 1. Схема направлений движения ТП на нерегулируемом пересечении.

дороге, в случае правого поворота задается определённый запас времени  $t_{зп}$ , по истечению которого производит поворот. Из теоретических основ время  $t_{тп}$ , необходимое для выполнения правого поворота, которое учитывает разгон до скорости движущегося в прямом направлении транспортного потока, определяется с помощью методов из теории автомобиля» [6].

С целью обеспечения запаса времени реакции водителя, как правило, несколько переоценивают время и принимают решения о начале манёвра при условии  $t_{зп} > t_{тп}$ .

Как считают исследователи, «степень решительности водителя при принятии решения можно определить следующим коэффициентом» [8]:

$$K_{реш} = t_{тп} / t_{фзв}, \quad (2)$$

где  $t_{фзв}$  – фактический запас времени, который определяет степень решительности при принятии решения, в течение которого водитель должен принять решение о выполнении манёвра.

Изменение коэффициента, оценивающего показатель решительности водителей, можно заключить в следующий диапазон:  $0 < K_{реш} \leq 1$ . (3)

«Распределение вероятности  $K_{реш}$  необходимо получить экспериментальным путём известными методами, например, с помощью фото-, видеофиксации транспортного потока, который проходит через рассматриваемое пересечение, с дальнейшей статистической обработкой» [8].

При движении автомобилей через нерегулируемый перекрёсток в прямом на-

правлении водитель должен принять решение с учётом запаса времени:

$$t_{зп} = \min(t_{зп}; t_{тп}); \quad (4)$$

при осуществлении левого поворота:

$$t_{зп} = \min(t_{зп}; t_{тп}; t_{зв}). \quad (5)$$

Необходимо учесть, что показатель решительности водителя зависит от вида манёвра на пересечении (поворот налево, направо, либо проезд прямо). В связи с этим коэффициенты решительности должны рассчитываться для каждого манёвра в отдельности. Распределение коэффициента решительности водителей имеет вид, представленный на рис. 2.

«Экспериментальные данные о движении транспортного потока через нерегулируемое пересечение в значительной части зависят от параметров транспортного потока, особенно от интенсивности движения, чем больше интенсивность, тем решительнее должны действовать водители» [7].

Это видно на кривой (рис. 2) – смещение кривой распределения вправо при увеличении интенсивности движения ТП. Изменение интенсивности движения ТП также необходимо анализировать по экспериментальным данным.

То есть, в процессе моделирования параметров транспортного потока требуется принимать во внимание поведенческий фактор водителя, который можно определить с помощью «коэффициента решительности водителей. Он представляет собой случайную величину с учётом распределения вероятности его значения в совокупности с распределением вероятностей функции интенсивности ТП» [8].

## АГРЕССИВНЫЕ И РОБКИЕ ВОДИТЕЛИ

Проводились исследования, определившие зависимость уровня риска образования затора, увеличивающийся при повышении количества «агрессивных» водителей, которые держатся близко к впереди идущему автомобилю и двигаются максимально быстро по отношению к «робким» водителям, которые держат большую дистанцию и низкую скорость движения [10].

Для иллюстрации поведения робких и агрессивных водителей на рис. 3 показано несколько пар траекторий движения и динамика соответствующей плотности

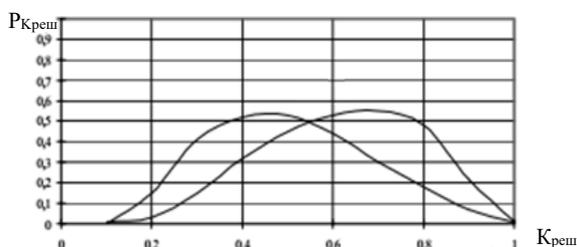


Рис. 2. График распределения коэффициента решительности водителей.

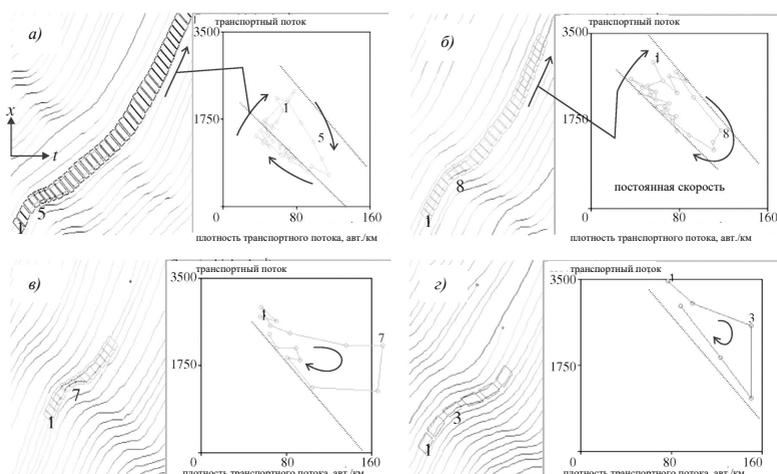


Рис. 3. Траектория движения автомобилей, динамика потоков плотности: а), б) – «робкие» водители; в), г) – агрессивные водители.

транспортного потока. Они рассчитаны на основе модели Edie's [11].

Для числа автомобилей  $n$ , находящихся в транспортном потоке внутри области  $A$ , формула имеет следующий вид:

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{|A|}, \quad q = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{|A|}, \quad v = \frac{q}{k} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\sum_{i=1}^n T_i}, \quad (6)$$

где  $k$ ,  $q$  и  $v$  – плотность, интенсивность и скорость транспортного потока в области  $A$ ;

$|A|$  – область  $A$ ;

$T_i$ ,  $D_i$  –  $i$ -е время движения транспортного средства и пройденное им расстояние внутри области  $A$ .

Каждый маленький круг на рис. 3 соответствует плотности потока внутри определённой области на пространственно-временной диаграмме. Единица на рисунках указывает на первое измерение, остальные измерения последовательно добавлены и выстроены в траекторию движения [11]:

• робкие водители замедлились вдоль равновесной ветви 1→5(а) и ускорились

вдоль «нижней» ветви 1→8(б), возвращаясь к исходному состоянию;

• агрессивные водители замедлились вдоль «верхней» ветви 1→7(в) и ускорились вдоль ветви 1→3(г), возвращаясь к состоянию равновесия.

Вскоре после появления такого поведения водителей, приводящего к неравновесному состоянию системы, скорость транспортных средств быстро стремится к нулю, что приводит к транспортному затору.

## ТИП ТЕМПЕРАМЕНТА И ПОВЕДЕНИЕ ВОДИТЕЛЕЙ

«В свою очередь, движение в условиях транспортного затора приводит к ухудшению функционального состояния водителя вследствие временного расстройств его некоторых психических и психологических функций» [12].

С учётом разного типа темперамента, водители по-разному ведут себя в транспортном заторе. «Их функциональное состояние при этом оценивается путём анализа сердечного ритма и определения показателя актив-





ности регуляторных систем (по методу профессора Р. М. Баевского)» [13].

Исследованиями установлено, что наибольшее отрицательное влияние транспортные заторы оказывают на водителей-холериков и на водителей-сангвиников. На водителей остальных темпераментов транспортный затор не оказывает значимого влияния.

Экспериментальные исследования [14] дали возможность определить показатель, оценивающий «характер изменения времени реакции водителей разных темпераментов после выхода из транспортного затора» [15]. Было проанализировано поведение 100 водителей крупного автотранспортного предприятия г. Саратова во время пребывания в транспортном заторе. В ходе эксперимента было обнаружено, что для разных групп водителей показатель, оценивающий характер изменения времени реакции водителей разных темпераментов после выхода из транспортного затора, разный. Например, время реакции водителя-холерика на первой половине участка пути между перекрёстками больше, а на втором участке — меньше.

Это свидетельствует о появлении опасных зон на участках транспортной сети [14], где имеет место высокий уровень вероятности возникновения транспортных заторов и дорожно-транспортных происшествий.

## КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Таким образом, при оптимизации условий дорожного движения необходимо учитывать и принимать во внимание поведенческие характеристики водителей и их темперамент [16] с целью повышения безопасности движения посредством учёта рисков заторовых ситуаций, возникающих по вине водителей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Басков В. Н., Рейн А. Р. Оценка влияния эргономических факторов на состояние водителя и безопасность движения // Научная мысль. — 2016. — № 3. — С. 102–107.
2. Баранов Ю. Н., Катунин А. А., Шкрабак Р. В., Брагинец Ю. Н. Основы обеспечения безопасности в системе «человек—машина—среда» // Вестник НЦБЖД. — 2014. — № 1. — С. 73–76.
3. Алекминский Д. Е., Кожин Д. О., Баранов Ю. Н. Факторы, определяющие возникновение отказа системы «человек—машина» при эксплуатации транспортного средства // Организация дорожного

движения и безопасность на дорогах европейских городов: Материалы международной молодёжной научно-практ. конференции. — Чешский технический университет в Праге 2014 г., ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК», 2014. — С. 24–27.

4. Полев Н. У. Об изменении времени реакции водителя вследствие пребывания в транспортном заторе // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — 2011. — № 2. — С. 117–120.

5. Гецович Е. М., Лазурик В. Т., Семченко Н. А., Король В. Ю. Эмпирико-стохастический подход к моделированию транспортных потоков // Компьютерное моделирование в наукоёмких технологиях: Тр. научн.-техн. конф. с междунар. участием Харьк. нац. ун-та им. В. Н. Каразина, 18–21 мая 2010 г. — Харьков, 2010. — Ч. 1. — С. 101–104.

6. Умняшкин В. А., Филькин Н. М., Музафаров Р. С. Теория автомобиля: Учебник. — Ижевск: ИжГТУ, 2006. — 272 с.

7. Басков В. Н., Рейн А. Р. Влияние эксплуатационных факторов на психофизиологическое состояние водителя и его энергозатраты / В сб.: Информационные технологии и инновации на транспорте материалы 2-й Международной научно-практической конференции // Под общ. ред. А. Н. Новикова. — 2016. — С. 139–147.

8. Трясин А. П., Баранов Ю. Н., Лапин А. П., Катунин А. А. Теоретические подходы к стратегии подготовки водителей транспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. — 2012. — № 2. — С. 123–127.

9. Новиков А. Н., Трясин А. П., Баранов Ю. Н., Самусенко В. И., Никитин А. М. Оценка эффективности функционирования системы подготовки кадров, связанных с обеспечением безопасности дорожного движения // Вестник Брянского государственного технического университета. — 2014. — № 4. — С. 188–195.

10. Hennessy D. A., Wiesenthal D. L. Gender, Driver Aggression, and Driver Violence: An Applied Evaluation // Sex Roles. — Vol. 44. — No. 11/12. — June 2001. — pp. 661–676.

11. Laval J. A., Leclercq L. A mechanism to describe the formation and propagation of stop-and-go waves in congested freeway traffic. — Phil. Trans. R. A. — 2010. — pp. 4519–4541. — DOI: 10.1098/rsta.2010.0138.

12. Ефремов Б. Д., Оверин Ю. В. Методы оценки профессиональных качеств водителей автомобилей // Техничко-технологические проблемы сервиса. — 2011. — № 16. — С. 95–97.

13. Крамарова М. И. Роль темперамента водителя в обеспечении безопасности дорожного движения // Технологический аудит и резервы производства. — 2012. — № 1. — С. 33–34.

14. Öz B., Özkan T., Lajunen T. An investigation of the relationship between organizational climate and professional drivers' driver behaviours // Safety Science. — 2010. — № 10. — pp. 1484–1489.

15. Кожин Д. О., Алекминский Д. Е., Евграшин В. В., Баранов Ю. Н. Исследование факторов, определяющих вероятность отказа (опасного действия) водителей автотранспортных средств // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. — 2014. — № 1. — С. 235–239.

16. Белоножко А. А., Гамаюнов П. П. Внедрение тестов, определяющих психофизиологические особенности начинающего водителя // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2015. — № 35. — С. 21–25. ●