

УДК 623.113 УДК 629.067

А.И. Марковнина, А.В. Папунин, В.С. Макаров, У.Ш. Вахидов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ
НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ГОРОДСКИХ ДОРОГ
И РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Проведены теоретические и экспериментальные исследования времени задержки автомобилей в потоке, которая обусловлена временем реакции водителя на изменяющиеся условия движения. Исследование проводилось на участке ул. Надежды Сусловой города Нижнего Новгорода и показало возможность увеличения скорости и интенсивности рассматриваемого реального транспортного потока. Наблюдение за дорожной обстановкой показало зависимость времени задержки автомобиля от его положения в очереди перед перекрестком со светофорным регулированием. Была смоделирована ситуация, при которой все транспортные средства в потоке оснащены ассистентом помощи водителю при движении в дорожном заторе. Выявлено снижение задержки при внедрении ассистента. Произведен расчет экономической эффективности от внедрения системы, возможный эффект от использования которой фактически выражается в сэкономленном водителем и пассажирами времени на перемещение из некой точки города в другую.

Ключевые слова: скорость реакции водителя, ассистент помощи в пробке, дорожный затор, экономическая эффективность.

Внедрение интеллектуальных систем помощи водителю в мире происходит стремительными темпами. Автомобили, оснащенные подобными системами, способны не только предупреждать о возникновении опасной ситуации на дороге, но и самостоятельно предотвращать дорожно-транспортные происшествия. Вопросы о перспективности разработок интеллектуальных систем, а также беспилотных транспортных средств поднимались во многих работах [1-3].

Развитие ТС, оснащенных современными системами, призвано сократить количество ДТП, в возникновении которых существенную роль играет человеческий фактор, а именно: усталость, невнимательность и скорость реакции водителя. На скорость реакции, как показывают многие исследования, оказывает влияние большое число внешних и внутренних факторов, будь то плохие погодные условия, темное время суток или усталость (состояние) водителя. Известно, что реакцией называется ответное действие организма на внешний раздражающий фактор. К простым реакциям относятся ответные действия на единичный раздражитель (например, торможение впереди идущего автомобиля). К сложным – действие сразу нескольких факторов (например, на регулируемом перекрестке приходится следить за сменой сигналов светофора и за движением пешеходов, переходящими проезжую часть, а также следить за другим транспортом).

Продолжительность формирования реакции водителя на различные раздражители, как показали исследования, составляет:

- на торможение впереди идущего автомобиля со стоп-сигналом – 0,42 с;
- на сигналы светофора в населенном пункте – 0,40 с;
- на дорожные знаки – 0,50 с;
- на неровности на дороге – 0,80 с.

В экспертной практике принято выделять три составляющих процесса определяющих время реакции водителя:

- время обнаружения объекта, которое зависит от видимости и ширины обзора с места водителя, погодных условий;

- время, за которое водитель принимает решение о действиях, которые нужно совершить при возникновении опасности для движения;
- время с момента принятия решения до начала выполнения движения водителем (двигательной реакции) органами управления.

Время реакции водителя – это величина непостоянная, которая зависит от внешних и внутренних факторов. Для того, чтобы вывести из психического равновесия человека достаточно короткого воздействия, а электроника и механизмы изнашиваются постепенно.

В настоящее время существует большое количество систем помощи водителю: системы помощи при спуске и подъеме, система экстренного торможения, система помощи при левом повороте и ассистент проезда перекрестков.

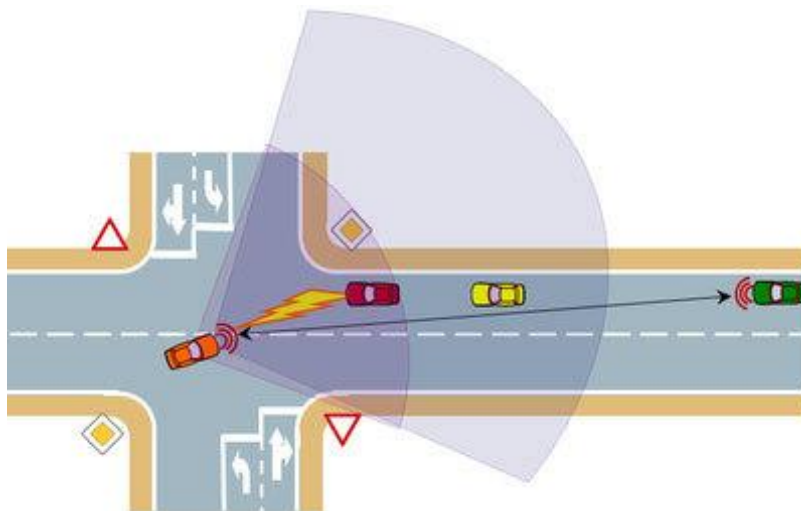


Рис. 1. Принцип действия системы помощи при повороте

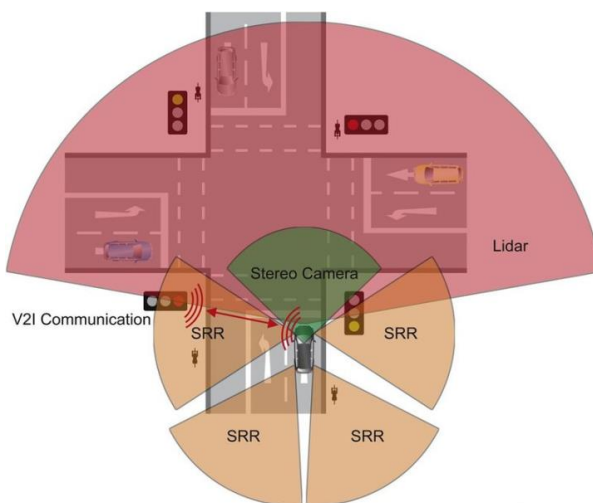


Рис. 2. Принцип действия и дальность видимости датчиков ассистента проезда перекрестков

Для проведения исследования была выбрана система Traffic Jam Assist (ассистент помощи при движении в пробке) как наиболее актуальная для городского автомобильного движения, особенно в «часы пик». Был поставлен вопрос, в каких пределах возможно увеличение скорости и интенсивности движения, если все транспортные средства из потока будут оснащены ассистентом помощи при движении в пробке, по сравнению с существующей дорожной обстановкой.

Рассматриваемая интеллектуальная система объединяет адаптивный круиз-контроль и ассистент движения по полосе, обеспечивая начало движения, плавный разгон, подруливание, торможение в пределах полосы движения. У некоторых вариаций системы (например, на автомобиле Audi A8) есть алгоритм действий в ситуации, когда автомобиль «подрезают», двигаясь близко к его передней части. У этой же модели используется допущение отсутствия необходимости держать руки на руле. В то же время у SKODA SuperbCombi это условие является обязательным. Для большинства моделей в силу низкого уровня оптического оборудования необходимо также наличие хорошего дорожного полотна с четко различимыми обозначениями на асфальте. После выезда из пробки водителю необходимо принять управление на себя. В противном случае система выдаст несколько предупреждений, а затем, не получив отклика от водителя, плавно остановит автомобиль.

При экспериментальном исследовании основным параметром выступило время задержки начала движения транспортного средства, т.е., время, проходящее с момента начала движения впереди идущего автомобиля до момента начала движения, следующего по потоку. Для проведения экспериментального исследования был выбран участок ул. Надежды Суловой в Советском районе Нижнего Новгорода на участке от д. 2 к 1 до пересечения с ул. Ванеева. Длина участка составляет 410 м, количество полос: 1 полоса в направлении от ул. Ванеева до ул. Бринского, 2 полосы в обратном направлении.

Время проведения замеров – с 7:30 до 8:30 утра, что соответствует наибольшей интенсивности транспортного потока.

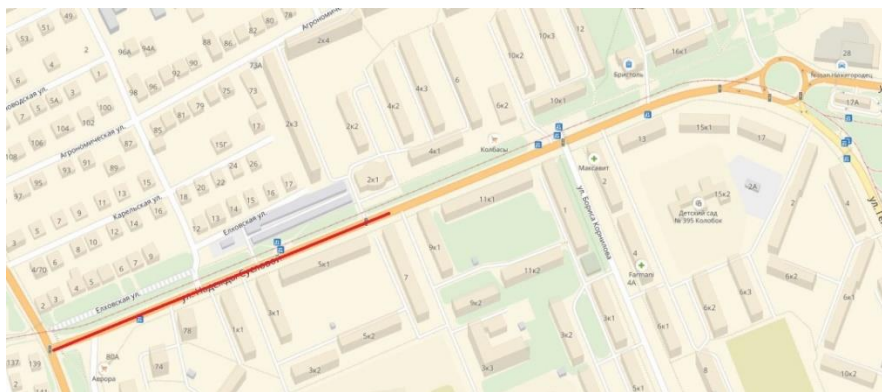


Рис. 3. Исследуемый участок, вид на Яндекс карте (дата обращения 28.03.18)



Рис. 4. Исследуемый участок на Яндекс карте, вид со спутника

Подробная схема рассматриваемого участка дороги с указанием дорожных знаков и дорожной разметки выполнена в программе AutoCAD 2007 и представлена на рис. 5.

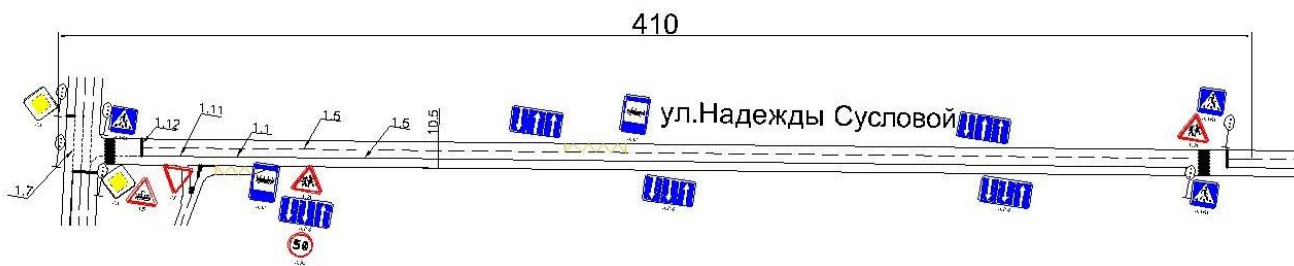


Рис. 5. Схема исследуемого участка дороги в среде AutoCad, с указанием дорожных знаков и дорожной разметки

Основным исследуемым параметром было выбрано время задержки транспортного средства, то есть время, проходящее с момента начала движения первого автомобиля до момента начала движения второго, и т.д. по потоку. За начало отсчета времени по потоку, было принято начало светофорного цикла. За основу вычислений взяты значения задержки по первым шести транспортным средствам в очереди к светофору (табл. 1).

Таблица 1

Задержка автомобиля в зависимости от его положения в очереди, с

№ изм/№авто в очереди	6	5	4	3	2	1
1	0,75	1,27	1,09	0,76	0,75	-0,30
2	1,43	0,20	0,96	0,70	0,72	-0,95
3	1,46	2,07	1,97	0,20	0,50	-1,05
4	1,25	1,99	2,03	2,19	0,99	0,60
5	0,63	2,10	0,86	1,47	0,54	-0,80
6	0,50	2,99	0,46	0,93	2,40	0,50
7	0,83	2,17	1,10	1,16	1,20	-0,60
8	0,56	1,75	0,69	0,86	0,54	0,50
9	0,39	1,07	1,30	1,44	0,84	-0,30
10	0,70	2,30	1,17	0,43	0,72	-0,50
11	1,12	0,66	1,25	0,61	0,52	0,21

Отрицательные значения первого автомобиля обусловлены тем, что, как правило, водители начинают движение несколько раньше включения зеленого сигнала светофора, вовремя, когда загорается красно-желтый сигнал.

Средние значения задержки в зависимости от положения автомобилей в очереди перед светофором представлены на рис. 6. Средняя задержка по всему транспортному потоку вычисляется без учета задержки первого автомобиля, так как это значение носит единичный характер и далее по потоку отрицательного значения задержки транспортного средства не выявлено. Средняя дистанция между транспортными средствами равна 1,21 м. Для упрощения расчета допускаем дистанцию в 1,2 м. Для расчетов выбирается правая полоса движения из двух по направлению в сторону улицы Ванеева, что обуславливается большим затором по сравнению с левой полосой движения. Вводится допущение об отсутствии перестроений на рассматриваемом участке, так как во время наблюдений была выявлена закономерность, что водители перестраиваются в нужную им полосу заранее, либо в самом начале рассматриваемого участка. Во втором случае влияние перестроений незначительно, и им можно пренебречь.

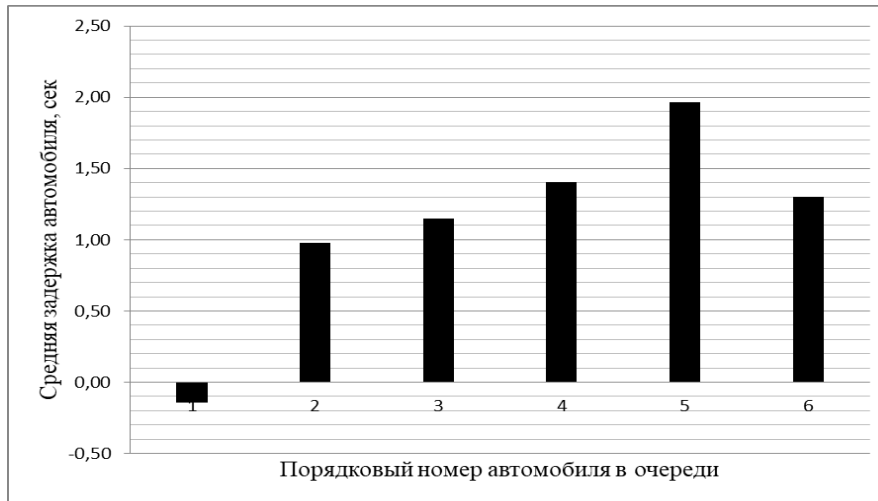


Рис. 6. Средняя задержка по номеру автомобиля в очереди к светофору

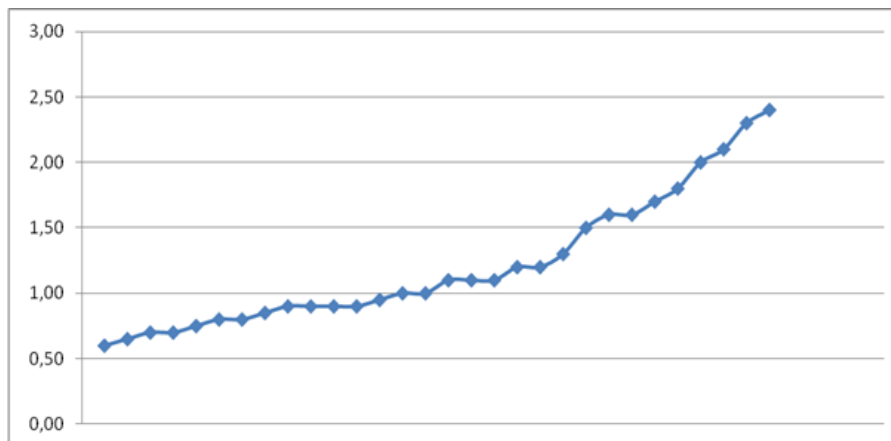


Рис. 7. Диапазон значений дистанций между автомобилями

Поскольку рассматривается одна полоса из двух, берется половинное значение всей пропускной способности. Согласно наблюдениям, потоки примерно равны, что позволяет ввести еще одно допущение о равной пропускной способности для обеих полос.

Таблица 2

Исходные данные для расчета

Параметр	Значение
Длина участка, м	410
Среднее время проезда участка, с	495
Дистанция, метры	1,2
Средняя длина авто, м	4,2
Задержка по потоку, с	1,36
Пропускная способность полосы	595

По формуле определим среднюю скорость по участку при отсутствии ассистента помощи в пробке в конструкции транспортных средств (1):

$$V_{ч} = \frac{S}{t_{п}}, \quad (1)$$

где $V_{ч}$ – средняя скорость по участку транспортных средств без встроенных интеллектуальных систем, м/с; S – длина участка, м; $t_{п}$ – полное время проезда участка без ассистента, с.

Плотность движения связана с пропускной способностью – основной характеристикой движения потока автомобилей (2):

$$P_p = V_{ч} * q, \tag{2}$$

где P_p – пропускная способность полосы, авт/ч; $V_{ч}$ – средняя скорость по участку, км/ч; q – расчетная плотность потока, авт/км.

Для определения суммарной задержки для крайнего автомобиля в заторе необходимо количество автомобилей в пробке. Беря усредненные значения длины автомобиля и дистанции между автомобилями, можно найти необходимое число (3):

$$n = \frac{S}{L_a + L_d}, \tag{3}$$

где n – количество автомобилей на участке, шт; S – длина участка, м; L_a – длина автомобиля, м; L_d – длина дистанции между автомобилями.

Таблица 3

Полученные значения для реального затора

$V_{ч}$	0,8 м/с, или 2,88 км/ч
q	207 авт/км
n	76 автомобилей

После проведения измерений и последующих вычислений было выявлено, что средняя скорость автомобиля на исследуемом участке длиной 410 м и расчетной плотностью потока 207 автомобилей на 1 км составила 0,8 м/с, или 2,88 км/ч. Для получения значения скорости потока при использовании на транспортных средствах ассистента помощи при движении в пробке далее вычисляется возможное время задержки, которое обусловлено особенностями электрических приборов и механизмов тормозной системы и системы питания.

Исследования показали, что время одного расчета прогнозируемой траектории движения на 5 с вперед (процессор i7, среда Win7, ОЗУ 16Гб) составляет примерно 0,05 с [1]. Относительно высокое значение дисперсии объясняется задержкой в процессе передачи данных от штатного датчика положения руля до измерительного комплекса, оцененное в 0,05 с (датчик-ЭБУ-КАN_автомобиля-КАN_ИМС-запись).

Суммарная задержка складывается из нескольких составляющих:

- время действия радара – отправка и получение ответного сигнала – 0,05 с;
- принятие решения центральным компьютером – 0,05 с;
- подача сигнала компьютером на механические приводы – 0,05 с;
- срабатывание механических систем, в частности тормозов – 0,1 с (рассматривается гидравлический привод).

Время проезда участка складывается из непосредственного времени движения и простоя. Время простоя можно разделить на время остановки по объективным причинам (светофор, препятствие) и на время остановки по субъективным причинам – внимательность, скорость реакции, принятие решения. Таким образом, время задержки $t_{зч}$ принимается простоем по субъективным причинам и в процессе расчета заменяется на время задержки электроники (суммарно 0,25 с). Исключение человеческого фактора способно повысить скорость движения. Также электронное устройство самостоятельно корректирует дистанцию между транспортными средствами.

Расчет времени, которое будет затрачиваться на проезд исследуемого участка, произведен по формуле (4).

$$t_{па} = t_{п} - t_{зч} * n + t_a * n \tag{4}$$

где $t_{па}$ – полное время проезда участка с использованием автоматических интеллектуальных систем, с; $t_{п}$ – полное время проезда участка без ассистента, с; $t_{зч}$ – время задержки человека,

c ; t_a – время задержки автоматических систем помощи водителю; n – количество автомобилей в заторе.

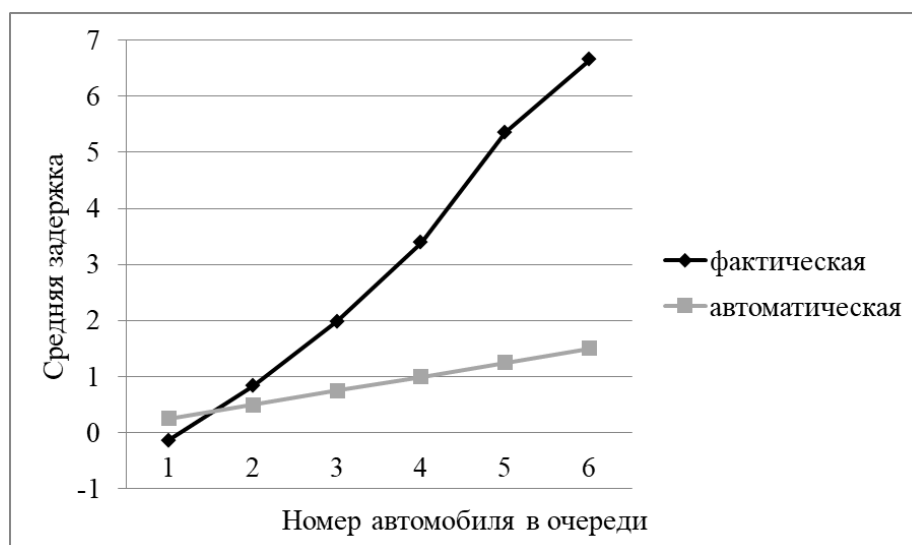


Рис. 8. Накопленная задержка для первых 6 автомобилей в заторе с и без использования автоматических интеллектуальных систем помощи водителю

Получив новое время проезда участка, определим новую среднюю скорость на исследуемом участке, которая составляет 1 м/с, или 3,6 км/ч. Исходя из полученных данных, благодаря внедрению ассистента помощи при движении в пробке на рассматриваемом участке возможно увеличение скорости на 0,72 км/ч, снижение времени проезда на 84 с, увеличение пропускной способности на 148 автомобилей в час. Также возможно снижение времени задержки транспортного средства при начале движения с места в 5,44 раза, что снижает накапливаемую задержку по потоку.

Далее предлагается следующая методика расчета экономической эффективности от установки ассистента помощи при движении в пробке, основывающаяся на уровне заработной платы в исследуемом регионе – Нижегородской области. Если на исследуемом участке в 410 м было сэкономлено 84 с, то за каждый километр затора возможно сэкономить 205 с (3 мин 25 с). Средняя заработная плата по Нижнему Новгороду в марте 2018 года составила 24 500 руб. Норма рабочего времени по Трудовому Кодексу РФ составляет 160 час в месяц [4], тогда средняя стоимость часа составляет 153 руб. 13 коп., стоимость минуты, соответственно, 2 руб. 55 коп. [1]. Таким образом, экономия за каждый километр пробки составляет 8 руб. 71 коп. Предположим, что среднестатистический нижегородский рабочий ездит на работу утром и с работы – вечером и каждый день, постоянно попадая в километровый затор и туда, и обратно. В результате: 1 км затора 2 раза в день, 5 дней в неделю, 4 недели в месяц, 12 месяцев в год. Тогда всего в год нижегородский рабочий стоит в заторах 480 км. За эти километры можно сэкономить 1 224 руб. Срок службы автомобиля составляет 10 лет, за этот срок экономится 12 240 руб.

Далее, сравним стоимость оборудования автомобиля ассистентом помощи при движении в пробке и полученной ранее суммы. Для сравнения приводится автомобиль Audi A8. В базовую комплектацию не входит данный ассистент, имеется возможность установки пакета ассистирующих систем «Путешествие», включающий в себя:

- адаптивная система помощи водителю, включая ассистент движения в пробке;
- адаптивный круиз-контроль;
- ассистент сохранения полосы движения;
- ассистент поворота;
- ассистент аварийного маневрирования.

Стоимость системы на новом автомобиле на 20 января 2019 года 168 454 руб. Очевидно, что установка ассистента движения в пробке в заданных условиях водителю не выгодна. Если провести аналогичные расчеты, могут быть выявлены условия движения по городу, в которых установка ассистента будет экономически оправдана. В рассматриваемой ситуации длина затора должна составлять 4 км утром и вечером. Если рассматривать регионы с более высоким значением средней заработной платы, более высокой нагрузкой на транспортную инфраструктуру, а также тенденцию к распространению ассистирующих систем на более массовый класс автомобилей, то экономический эффект может достигать высоких значений.

Данный метод позволяет экономически оценить применение любой интеллектуальной системы помощи водителю, если эффективность применения выражается в единицах времени.

Библиографический список

1. **Ендачев, Д.В.** Прогнозирование характеристик криволинейного движения беспилотного автомобиля / Д.В. Ендачев: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03 – М., 2016. – 185 с.
2. **Копытова, Ю.В.** Методы повышения пропускной способности дорог / Ю.В. Копытова // Молодой ученый. – 2018. – № 5. – С. 196-197.
3. **Лобанов, Е.М.** Транспортная планировка городов / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
4. Трудовой кодекс Российской Федерации / КонсультантПлюс. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 15.05.2019).
5. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. – М., 2012, – 144 с.
6. СНиП 2.05.85 Автомобильные дороги. – М., – 106 с.
7. Справочник по безопасности дорожного движения: справочное пособие. – М.: РОСАВТОДОР, 2010, – 384 с.
8. Smotra.ru [Сайт]. – Режим доступа: <http://smotra.ru/en/users/tropicant/blog/114080/> (дата обращения 20.04.2018)
9. Яндекс Карты. – Режим доступа: <https://yandex.ru/maps/?clid=2270456&ll=44.005986%2C56.326887&win=332&z=11> (дата обращения 28.03.2018).
10. Carfactum.Ru [Сайт]. – Режим доступа: <http://www.carfactum.ru/2011/05/27/tehnologii-volkswagen-uidet-nevidimoe/> (дата обращения 20.04.2018).

*Дата поступления
в редакцию: 29.03.2019*

A.I. Markovnina, A.V. Papunin, V.S. Makarov, U.Sh. Vahidov

**STUDYING THE INFLUENCE OF INTELLECTUAL SYSTEMS AID
TO THE DRIVER ON THE PASSAGE OF THE URBAN ROADS
AND CALCULATION OF THE ECONOMIC EFFECT FROM INTRODUCTION**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

Purpose: This article examines the increase in the capacity of urban roads through the introduction of intelligent driver assistance systems and calculates the economic effect of the introduction of the system.

Design / methodology / approach: The main investigated parameter was chosen the delay time of the vehicle, then the calculation of the delay electronics. Next, the calculation of the economic efficiency of the implementation of Traffic Jam Assistant.

Findings: A decrease in the vehicle delay time was detected when the Traffic Jam Assistant was used when starting off by 5.44 times, which reduces the accumulated flow delay and time spent on moving.

Research limitations/implications: This study was carried out on the section of the road without a gradient, the assumption was introduced that there were no rebuildings on the section.

Originality/value: The results of the study of the delay of the vehicle in urban conditions at rush hour are presented, the situation of equipping the entire flow of an intelligent driver assistance system is simulated and the time saved in the simulated situation is calculated.

Key words: driver reaction speed, traffic jam assistant, traffic congestion, economic efficiency.