

АНАЛИЗ СТАРТОВЫХ ЗАДЕРЖЕК НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Писцов А.В.¹, Петров А.И.¹

¹ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, Россия (625000, Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы оценки стартовых задержек транспортных средств на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети. В статье приведены результаты экспериментальных замеров времени задержки транспортных средств на перекрестках. Показано, что достаточно часто (до 18 % случаев) водители начинают движение на разрешающий сигнал светофора со значительными задержками, превышающими норматив. Это негативно влияет на режимы формирования пропускной способности улично-дорожной сети. В частности, пропускная способность улично-дорожной сети в час-пик по причине стартовых задержек движения транспортных средств снижается примерно на 2...4 %. Эти данные были получены на основе расчетов, выполненных применительно к анализу результатов экспериментальных замеров задержек движения 540 транспортных средств час-пик в Тюмени. По итогам исследований сделаны выводы и даны рекомендации по сохранению заданной пропускной способности участка улично-дорожной сети.

Ключевые слова: Режим движения транспортных средств, стартовые задержки движения транспортных средств, улично-дорожная сеть (УДС), регулирование дорожного движения, пропускная способность УДС.

THE ANALYSIS OF STARTING DELAYS ON ADJUSTABLE CROSSINGS OF THE STREET ROAD NETWORK

Pistsov A.V.¹, Petrov A.I.¹

¹Tyumen State Oil & Gas University, (625000, Tyumen, Volodarskogo street, 38), e-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

In the article questions of an assessment of vehicles starting delays on adjustable crossings of a street road network are considered. In the article results of experimental measurements of vehicles delay time are given in intersections. It is shown that rather often (to 18% of cases) drivers begin the movement on the allowing traffic light signal with the considerable delays exceeding the standard. It negatively influences the modes of formation of a street road network capacity. In particular, the capacity of a street road network in rush hour because of starting delays of the vehicles movement decreases approximately on 2 ... 4 %. These data were obtained on the basis of the calculations executed in relation to the analysis of results of experimental measurements of delays of the movement 540 of vehicles rush hour in Tyumen. Following the results of researches conclusions are drawn and recommendations about preservation of the set capacity of a site of a street road network are made.

Key words: Mode of the movement of vehicles, starting delays of the movement of vehicles, street road network, traffic regulation, UDS capacity.

Глобальная проблема общего снижения скорости сообщения горожан V_c в границах муниципалитетов является серьезной проблемой не только для РФ, но и почти для всех стран мира [2, 5]. Во многом это происходит по причинам формирования на отдельных участках УДС города транспортных заторов. А сам процесс возникновения заторов транспорта в значительной степени определяется неоднородностью стиля поведения водителей на улично-дорожной сети (УДС), т.е. поведенческими особенностями водителей [1, 2, 3, 5]. По оценкам [2] только 45 % в целом склонны к беспрекословному следованию установок организаторов дорожного движения, реализуемому посредством соблюдения Правил дорожного движения (ПДД), четкому подчинению требований дорожных знаков. Большая часть водителей либо полностью, либо частично игнорирует требование дорожных знаков и дорожной разметки.

Именно такие водители склонны превышать разрешенную скорость движения, нарушать другие рекомендации по режиму движения [2]. Часто это приводит к дорожно-транспортным происшествиям, и, как следствие, к снижению пропускной способности участков УДС. И, тем не менее, это не единственная причина формирования транспортных заторов. Как уже было указано выше, не менее серьезное влияние на эти процессы оказывает и обыденное поведение водителей на дороге, соответствие их действий требованиям средств регулирования движения.

Основное техническое средство регулирования транспортных потоков на УДС – светофорные объекты, которые сегодня могут работать в самых разнообразных циклических режимах. Водители, вынужденные подчиняться сигнальной информации, зачастую чрезвычайно разнообразно реагируют на требования светофорных объектов. Кто-то из них исполняет эти требования в полном объеме и точно по алгоритму его работы, кто-то действует запоздало, другие же, наоборот, пытаются торопить события [1, 2, 6, 7].

Основные заторы и задержки транспорта возникают на перекрестках УДС, которые и ограничивают пропускную способность магистрали [1, 3, 4]. На магистралях регулируемого движения пропускная способность перекрестка зависит от оптимизации настроек режимов светофорного регулирования, определяемых соотношением интенсивностей пересекающихся потоков, долями поворотных потоков и интенсивностью пешеходного движения. Из-за различных соотношений этих параметров транспортных потоков в пространстве протяженности магистрали обычно формируется существенная неравномерность ее пропускной способности. Геометрические параметры магистрали, при этом, как правило, не изменяются.

В рамках данной статьи рассматривается достаточно узкий вопрос, тем не менее, имеющий важное значение в решении проблемы повышения пропускной способности таких «узких» мест УДС, как регулируемый перекресток. Это вопрос оценки и анализа величины фактических стартовых задержек движения транспортных средств на регулируемых пересечениях УДС. В случае решения проблемы оптимизации стартовых задержек можно значительно увеличить пропускную способность УДС.

Согласно [4] пропускная способность полосы автомобильной дороги N_n в сечении стоп-линии, располагаемой у перекрестка, определяется как (1):

$$N_n = \frac{3600(t_3 - a)}{t_n T_y}, \quad (1)$$

где t_3 - продолжительность зеленой фазы, сек.;

- $T_{ц}$ - продолжительность цикла регулирования, сек.;
- t_n - средний интервал прохождения автомобилей через «стоп-линию», сек.;
- a - задержка на старте, сек.

Показатель задержки на старте a при расчете пропускной способности полосы Nn в источниках [4] советуют принимать в пределах 1...3 сек., что накладывает значительную погрешность на расчетное значение пропускной способности полосы в целом. Разумеется, этот параметр необходимо определить точнее и в дальнейших расчетах пропускной способности полосы Nn использовать более четко определенное значение параметра a .

Задачей данного исследования было изучение статистики фактических величин задержек транспортных средств на старте по факту включения разрешающего сигнала светофора. Данная задача решалась посредством метода съемки динамики начала движения стоящих на входе на перекресток транспортных средств (ТС). Подсчеты задержек производились выборочным (по типам ТС) наблюдением в течение 5, 15, 30 минут. Одновременно учитывалось количество ТС (по типам), проехавших перекресток в течение зеленой (разрешительной) фазы светофорного регулирования. В последующем по этим данным определялась интенсивность движения ТС по направлениям.

В ходе исследований отмечено, что основная нагрузка на УДС города приходится с 8 до 20 ч. В этот период суток формируется более 80 % суточного объема движения.

Для экспериментального исследования специфики действий водителей на перекрестках и последующей оценки влияния стартовых задержек на пропускную способность регулируемых пересечений в г. Тюмень были выбраны перекрестки двух типов, представленные в табл. 1. Это типичные перекрестки магистральной улицы города со второстепенной улицей. На таких перекрестках УДС обычно продолжительность разрешающей движение фазы светофора не превышает 40...60 сек.

Таблица 1

Перечень перекрестков г. Тюмени - объектов исследований

Т – образные перекрестки	X – образные перекрестки
улица Широкая – улица Н. Федорова	улица Мельникайте – улица Харьковская
улица Широкая – проезд МЖК	улица Щербакова – улица Дружбы
улица Широкая – улица Народная	

Выбор этих перекрестков определялся посредством экспертного опроса жителей г. Тюмень на предмет определения важнейших перекрестков города второго плана. В итоге

Для видеозаписи материалов, содержащих информацию о действиях участников движения в час-пик и задержках ТС на старте, использовалась видеокамера с частотой съемки 60 кадров в сек. Погрешность средств измерения составляет не более 0,017 сек.

Натурное исследование задержек ТС на старте проводилось в благоприятных погодных условиях, при положительной температуре окружающего воздуха, в ясную погоду и в условиях отсутствия осадков. Этим нивелировалось негативное влияние на действия водителей случаев неблагоприятного состояния внешней среды. Также, при выборе мест и времени исследований исключалось попадание прямого солнечного света на лобовую часть автомобилей во избежание ослепления водителей.

В ходе обработки результатов эксперимента, полученные видеоматериалы проанализированы на предмет установления величин стартовых задержек. Объем исследовательской информации составил 540 замеров стартовых задержек. Этот объем информации был получен в продолжении десяти циклов движения ТС на каждом из шести перекрёстков. Диаграмма распределения величин стартовых задержек ТС на типичных для г. Тюмени перекрестках магистральной улицы города со второстепенной улицей представлена на рис. 1. Данная диаграмма получена посредством обработки экспериментальных данных с использованием программы STATISTICA 6.0.

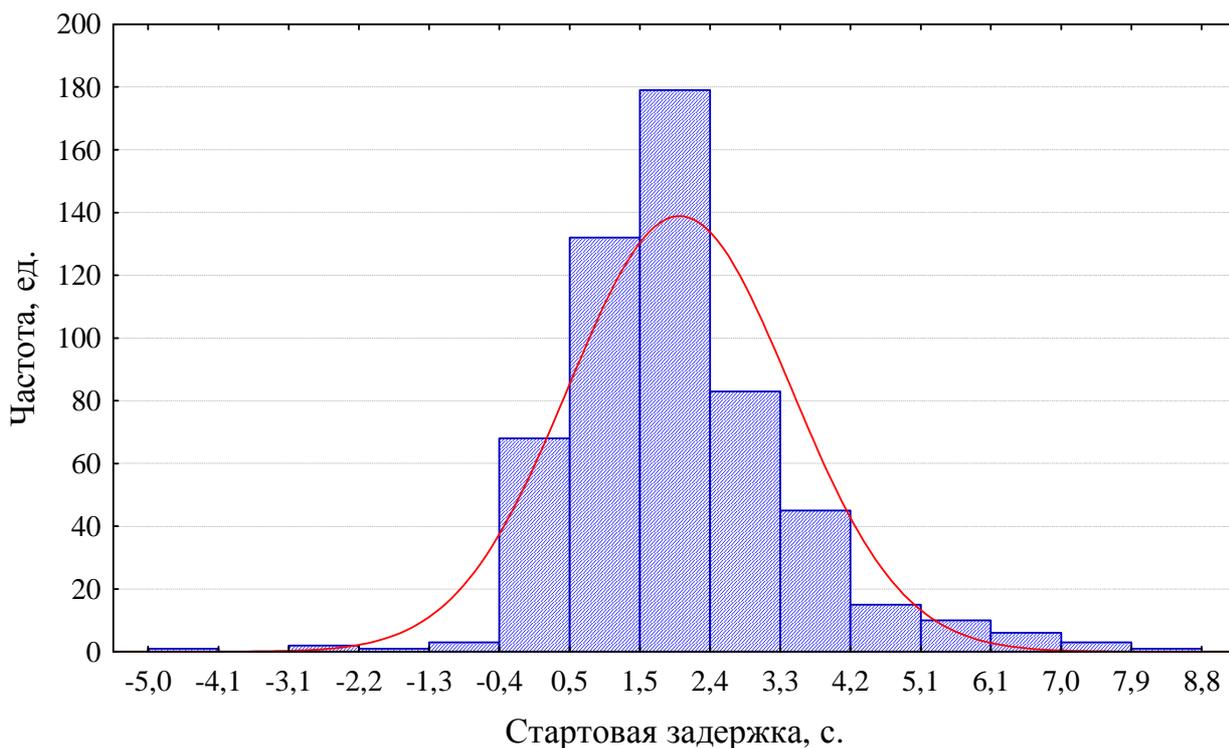


Рис. 1. Распределение величин стартовых задержек ТС на перекрестках УДС г. Тюмени по нормальному закону

Фактически, математическое ожидание исследуемого параметра движения составило 1,95 сек., при том, что сам диапазон значений стартовых задержек достаточно широк (от -4,5 сек. до 8,2 сек.). Что важно, так это наличие большого числа случаев, когда водители начинают движение раньше, чем включится разрешающий сигнал светофора. Число таких

случаев составило 42 или 7,8 %. Такое поведение водителей чревато серьезным риском аварийности [6, 7, 8]. Наоборот, число случаев превышения фактических величин стартовых задержек над нормативами, обозначенными в [4] составило 94 или 17,5 %. Низкая скорость реакции водителей на сигнал светофорного объекта также является негативным моментом в плане снижения пропускной способности участка УДС.

Значения математического ожидания стартовых задержек ТС на исследованных перекрестках УДС г. Тюмени представлены в табл. 2.

Таблица 2

Потери эффективного времени цикла светофорного регулирования

Наименование перекрестка	Продолжительность полного цикла T_c , сек.	Математическое ожидание стартовой задержки за фазу, сек.	Потери времени в фазе (цикле), %
Т-образные перекрестки			
улица Широтная - улица Н. Федорова	131	1,13	0,85 (1,7)
улица Широтная - улица Народная	90	2,20	2,45 (4,9)
улица Широтная - проезд МЖК	75	3,02	4,05 (8,1)
Х-образные перекрестки			
улица Мельникайте - улица Харьковская	135	1,21	0,90 (1,8)
улица Щербакова - улица Дружбы	100	1,56	1,56 (3,1)

Высокий уровень отклонения значений задержки ТС на перекрестках обусловлен в первую очередь различием в видимости светофорной сигнализации. На исследованных перекрестках повторные светофоры установлен только на перекрестках ул. Широтная-Н.Федорова и ул. Мельникайте-Харьковская, что снижает временные потери в разрешительной фазе с 1,5...4 сек., обычные для перекрестков без повторных светофоров, до 0,85...0,90 сек. В случае отсутствия повторного светофора, водители ТС, находящихся в непосредственной близости от стоп-линии, реагируют на сигнал с запозданием.

Располагая данными об интенсивности движения и параметрах светофорного регулирования, можно оценить потери часовой пропускной способности перекрестков. Значения снижения пропускной способности перекрестков с различной степенью видимости светофорной сигнализации приведены в табл. 3.

Таблица 3

Снижение пропускной способности регулируемых пересечений УДС по причине потери времени из-за стартовых задержек движения

Перекресток улиц	Численные значения показателей						
	Длительность светофорного цикла, сек.	Количество светофорных циклов за час	Суммарные потери времени из-за стартовых задержек за час., сек.	Интенсивность движения транспортного потока		Снижение пропускной способности регулируемого пересечения УДС	
				ТС/час	ТС/сек.	ТС/час	%
Направления с повторными светофорами							
Широтная - Н. Федорова	131	27,48	31,05	1946	0,54	16,77	0,9
Мельникайте - Харьковская	135	26,66	32,25	901	0,25	8,07	0,9
Направления без повторных светофорных объектов							
Широтная - Народная	90	40,00	88,00	1236	0,34	29,92	2,4
Широтная - МЖК	75	48,00	144,96	1551	0,43	62,33	4,0
Щербакова - Дружбы	100	36,00	56,16	1343	0,37	20,77	1,5

Анализ данных табл. 3 показывает, что использование на практике повторных светофоров позволяет снизить потери времени на стартовые задержки ТС, что в свою очередь приводит к потерям пропускной способности регулируемых перекрестков не на 1,5...4 %, что бывает в случае отсутствия повторного светофора, а лишь на 0,9...1,0 %.

Следует отметить, что при увеличении длительности разрешающих движение фаз относительные потери в цикле уменьшаются и наибольшие значения потерь наблюдаются на перекрестках с относительно коротким циклом светофорного регулирования. Величина стартовой задержки, в свою очередь, зависит от состава потока, коэффициента сцепления шин с дорогой и видимости светофорной сигнализации. Состав потока на каждом отдельно взятом пересечении можно считать постоянным (меняющимся с известной периодичностью). Видимость светофорной сигнализации также способна варьироваться лишь в ограниченных пределах, хотя погодные-климатические условия средней полосы РФ в достаточной мере оказывают влияние на изменение коэффициента сцепления шин с дорогой. Таким образом, при выпадении осадков в виде дождя или снега длительность стартовой задержки будет неизбежно повышаться, что в свою очередь снизит эффективную пропускную способность перекрестка в целом. Проведенные исследования показывают, что в условиях гололеда ($\phi = 0,1 \dots 0,2$) [6] пропускная способность регулируемых пересечений может снижаться на 20...40 % [1, 3, 5].

По итогам исследований было сделано три важных вывода.

1. Около 15...20 % водителей начинают движение на регулируемых перекрестках со значительной (превышающей норматив) стартовой задержкой относительно включения разрешающего сигнала светофора.

2. С целью повышения пропускной способности регулируемого пересечения УДС необходимо устанавливать повторные светофоры. Это позволяет повысить пропускную способность УДС примерно на 0,5...3 %.

3. В зависимости от длительности цикла стартовые потери времени и снижение пропускной способности участка УДС варьируются. Максимальные потери пропускной способности УДС характерны для случаев непродолжительной длительности светофорного цикла. Поэтому, желательно, с целью снижения стартовых потерь, увеличивать цикл по времени.

В качестве практических рекомендаций по сохранению заданной пропускной способности регулируемых пересечений УДС можно предложить увеличивать продолжительность зеленых (разрешающих) фаз и цикла светофорного регулирования в целом. Особенно это актуально при низких значениях коэффициента сцепления шин с дорогой ($\varphi = 0,1 \dots 0,2$). Зима на большей территории нашей страны продолжается 5...10 месяцев, следовательно эта рекомендация может рассматриваться как постоянная. Данная мера так же позволит снизить количество остановок и троганий с места в очереди перед перекрестком, что также отражается и на безопасности дорожного движения.

Список литературы

1. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. — М.: Транспорт, 1993. — 272 с.
2. Вандербильт Т. Трафик. Психология поведения на дорогах. — М.: Манн, Иванов и Фарбер, 2013. — 432 с.
3. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. — М.: Транспорт, 1990. — 304 с.
4. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: учебник для студентов ВУЗов. — М.: Транспорт, 1990. — 240 с.
5. Петров А.И. Город. Транспорт. Внешняя среда. Устойчивость общественного транспорта городов в условиях неблагоприятного влияния внешней среды. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. — 356 с.
6. Петров А.И. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учеб. пособие. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. — 82 с.
7. Петров А.И. Особенности формирования автотранспортной аварийности в пространстве и времени. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. — 254 с.

8. Петров А.И. О возможности повышения качества расследования преступлений, связанных с дорожно-транспортными происшествиями // Евразийский юридический журнал. — 2015. — № 8(87). — С. 221-223.

Рецензенты:

Захаров Н.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сервис автомобилей и технологических машин» ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Карнаухов В.Н., д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.