

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 656.054

DOI: 10.36535/0236-1914-2022-07-8

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАДЕРЖЕК АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПЕРЕД ПЕРЕКРЕСТКАМИ

Эрназаров Азиз Алибаевич
(Андижанский машиностроительный институт)
aziz-ernazarov@mail.ru

Аннотация. Приведен анализ причин возникновения задержек транспортных средств перед перекрестками. В результате исследования предложена модель определения длины задержки перед регулируемым перекрестком. Определена зависимость задержки от факторов организации дорожного движения на улично-дорожной сети.

Ключевые слова: транспортные задержки, транспортный поток, цикл регулирования, регулируемый перекресток, очередь, интенсивность движения, фаза регулирования.

Для цитирования: Эрнарзоров А.А. Закономерность образования задержек автотранспортных средств перед перекрестками//ТРАНСПОРТ: Наука, Техника, Управление. Научный информационный сборник. 2022. №7. С. 48-52. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-07-8.

AVTOMOBILE TRANSPORT

Scientific article

REGULARITY OF FORMATION OF DELAYS BEFORE INTERSECTIONS

Ernazarov Aziz A.
(Andijan machine-building Institute)
aziz-ernazarov@mail.ru

Abstract. The article provides an analysis of the causes of vehicle delays before intersections. As a result of the study, a model for determining the length of the delay before regulated intersections is proposed. The dependence of the delay on the traffic intensity, the duration of the regulation phases, the number of traffic lanes, the ratio of traffic light signals to the cycle time is determined.

Keywords: traffic delays, traffic flow, regulation cycle, regulated intersection, queue, traffic intensity, regulation phase.

For citation: Ernazarov A. A. Regularity of formation of delays before intersections.//TRANSPORT: Science, Equipment, Management. Scientific Information Collection. 2022. №7. P. 48-52. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-07-8.

Введение

Современный уровень автомобилизации и количество транспортных средств (ТС) на проезжей части ставит новые задачи по организации дорожного движения (ОДД), одной из которых является отделение пешеходных потоков и транспортных. При формировании пешеходных и автотранспортных потоков необходимо стремиться к распределению транспортных и пешеходных потоков. Это обусловлено важностью обеспечения безопасности пешеходов и экологического состояния окружающей среды, так как пересечения являются местом скопления транспортных средств [1-4].

Соблюдение данных требований необходимо для любых видов пересечений, но особо актуально на регулируемых перекрестках магистральных улиц с большой плотностью конфликтующих потоков и особенностью взаимодействия с пешеходными потоками.

Постановка проблемы

Основной задачей светофорного регулирования является оптимальное распределение времени для автотранспортных и пешеходных потоков с учетом требований безопасности [5-6].

С учетом связей между автотранспортными и пешеходными потоками и необходимостью их разделения на современном этапе применяются различные методы ОДД:

- а) полное отделение пешеходного движения от других видов движения во времени и пространстве;
- б) организация пешеходного движения с разрешением наличия автотранспортных средств на общей с пешеходами площади;
- в) пешеходное движение позволяет использовать транспортные средства на общей с пешеходами площади, но с ограничениями в определенное время;
- г) пешеходное движение допускает применение массового транспорта общего пользования общегородского или городского значения на отдельно выделенной территории;
- д) организация пешеходного движения с использованием дополнительных ТС на общей с пешеходами или отдельной площади;
- е) организация пешеходного движения в разных способах с другими участниками движения.

Но при любой схеме организации транспортных и пешеходных потоков возникают задержки в движении

транспорта и пешеходов. Оптимизация потоков и минимизация задержек является приоритетным направлением совершенствования ОДД. Именно задержки ТС перед перекрестками приводят к экологическим, экономическим и социальным и потерям общества. Исходя из вышесказанного сокращения задержек, путем уменьшения простоев ТС перед перекрестками является актуальным на сегодняшний день.

Анализ источников

Четкость ОДД пересечений является основным фактором, влияющим на безопасность движения и пропускную способность. Оптимальным считается планировочное решение, выделяющее отдельную проезжую часть для каждого направления движения, с оптимальной шириной, определяемой интенсивностью движения [7-9].

Учитывая это разделение транспортных потоков – является главным условием обеспечения БДД. Определены [7] следующие способы разделения транспортных потоков:

- 1) в пространстве;
- 2) в времени.

Основным методом создания благоприятных и безопасных условий движения ТС является разделение движения в пространстве. Этот метод ОДД подразумевает разделение транспортных и пешеходных потоков по оптимальным направлениям и безопасной траектории.

Основные методы реализации разделения движения в пространстве можно разделить на три группы (рис. 1) [10].



Рис. 1. Мероприятия по реализации разделения транспортных потоков в пространстве

К градостроительным работам разделения движения относится полное разделение встречных полос, разделение движения потоков с помощью развязок, обустройство велосипедных дорожек и пешеходных переходов [1, 5, 8].

К организационным мероприятиям разделения движения можно отнести ориентирование по маршрутам, позволяющее распределить движение автотранспортных средств по разным направлениям [4].

К смешанным мерам разделения движения относятся канализование движения и организация одностороннего движения [1, 4-9].

Но следствие любой схемы ОДД это - возникновение задержек в местах разделения потоков. Основной целью мероприятий по уменьшению величины задержек является уменьшение длины очередей перед перекрестками.

Параметры, используемые для прогнозирования характеристик задержек [1, 4, 7, 11]:

- 1) типа прибытия;
- 2) характеристики обслуживания;
- 3) параметры обслуживания.

Из диаграммы возникновения очередей перед регулируемым перекрестком (рис. 2), видно, что верхняя сторона показывает прибытие, а две другие – обслуживание. Каждый треугольник на рис. 2, что представляет один цикл, позволяет определить продолжительности существования очереди – с момента начала периода красного до момента ее полного рассеяния [1, 4]. Эта величина варьируется между временем эффективного красного и продолжительностью цикла:

$$v * t_Q = S * (t_Q - r), \tag{1}$$

или

$$t_Q = \frac{s * r}{s - r} \tag{2}$$

где – t_Q длительность существования очереди, с; v – средняя интенсивность прибытия, авт./час.; s – средний темп обслуживания, авт./час.; r – время эффективного красного сигнала, с.

Очереди можно оценить для целей планирования, и затем используя следующую формулу [13]:

$$QL = \frac{T * (v - c)}{N * d} \tag{3}$$

где- QL длина очереди, км; T – продолжительность периода анализа, ч.; v – запрос на трафик, авт. / час. c – пропускная способность, авт./час.; N – количество полос; d – плотность в накопителе, авт./км/полоса.

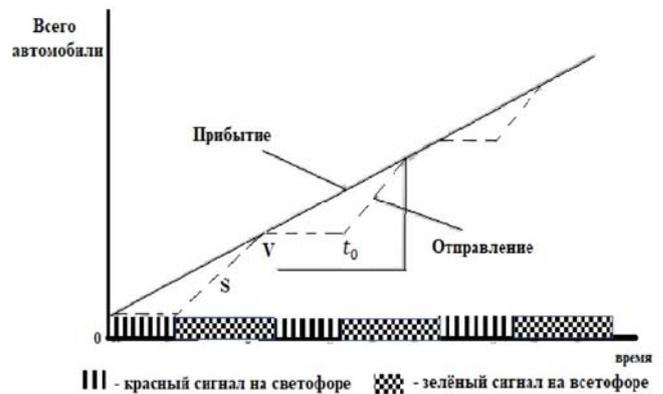


Рис. 2. Диаграмма возникновения очередей перед регулируемым перекрестком

Анализ литературных источников позволил выявить, что среди существующих методов определения очередей перед регулируемым перекрестком большинство определяет характеристики по усредненным зависимостям при равномерном распределении интенсивности транспортного потока во времени. Характер движения ТС по транспортной сети свидетельствует об обратном. Неравномерный выбор режимов движения отдельных ТС в потоке, наличие разноплановых характеристик сети и устаревшие средства организации светофорного регулирования лишь подтверждают мнение о стохастический распределение очередей перед перекрестками. Поэтому необходимо проведение исследований по выявлению характеристик транспортного потока и параметров светофорной сигнализации на образование очередей перед перекрестками.

Определение параметров светофорной сигнализации в местах образования транспортных задержек и распределения характеристик транспортного потока

Для проведения натурных исследований было выбрано несколько перекрестков в г. Джизаке, которые отражают всю гамму пересечений, а именно:

- 1) количества полос движения на главной и второстепенной дороге;
- 2) количества фаз регулировки;
- 3) параметров светофорной сигнализации;
- 4) характеристик интенсивности транспортных потоков;
- 5) длины очередей перед перекрестками.

В рамках экспериментальных исследований на выбранных перекрестках были собраны следующие данные (табл. 1):

- 1) интенсивность движения ТС на подходах к перекресткам;
- 2) длительности тактов и времени цикла;
- 3) количество ТС, находящихся в очереди.

Сформирован массив данных позволяет получить дополнительные параметры очередей путем расчета следующих отношений (табл. 2):

- 1) интенсивность движения ТС на одну полосу движения;
- 2) интенсивность движения ТС за одну секунду движения;
- 3) количество циклов регулирования в час;
- 4) соотношение времени разрешающего сигнала к времени цикла;
- 5) средняя длина очереди (выраженная в количестве транспортных средств).

Таблица 1

Результаты натурных исследований

№	Интенсивность авт./час	Кол-во полос	Продолжительность, с				Количество ТС, находящихся в очереди в момент времени t				
			цикл	Зеленый сигнал	Красный сигнал	Сумма промежуточных тактов	20	40	60	80	100
1	1230	2	58	22	30	6	8	4	6	5	9
2	2260	3	53	25	16	12	4	3	2	6	8
3	1350	2	49	15	28	6	7	3	7	8	10
...
40	3121	3	64	34	20	10	8	2	2	7	4

Таблица 2

Результаты натурных исследований

Номер опыта	Интенсивность движения, приходящаяся на 1 полосу движения, авт./ч	Интенсивность движения, приходящаяся на 1 секунду движения, авт./час.	Количество циклов регулирования в часе	Соотношение времени зеленого сигнала ко времени цикла	Средняя длина очереди, авт.	
					Расчетная	Экспериментальная
1	614	0,172	66	0,344	4	5
2	752	0,208	66	0,471	3	4
3	676	0,187	72	0,304	5	7
.....
50	1048	0,292	56	0,572	5	5

Для выявления характера и направления действия основных факторов на длину очереди, были построены соответствующие распределения зависимой переменной. На рис. 3-4 приведено распределение длины очереди в зависимости от интенсивности движения. Показано, что четкой зависимости между экспериментальными данными длины очереди и интенсивности движения не прослеживается. Однако, полученное распределение длины очереди в зависимости от интенсивности движения, приходящееся на 1 полосу движения показывает четкую зависимость (рис. 5).

Полученные распределения (рис. 3-5) характеризуют образование очередей, то есть их накопление. С другой

стороны, оценить пропускную способность подхода возможно, рассмотрев распределение длины очереди в зависимости от соотношения времени разрешающего сигнала ко времени цикла (рис. 6).

Как видим, существует коридор варьирования длины очереди в зависимости от соотношения времени разрешающего сигнала ко времени цикла, но общая тенденция ведет к уменьшению очереди. Что объясняется большим временем на пропуск ТС в течение времени цикла.

Следовательно, приведенные распределения длины очереди в зависимости исследованных факторов необходимо проверить с помощью статистического анализа на весомость их влияния.

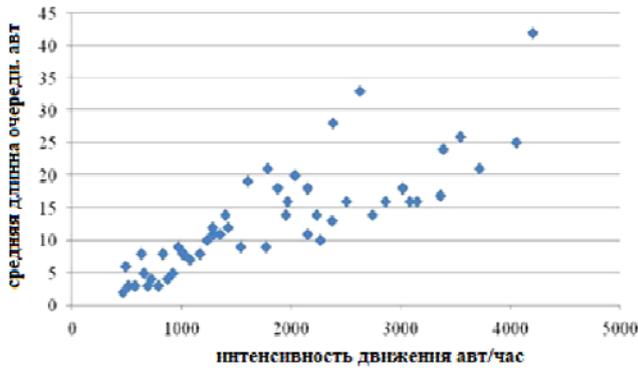


Рис. 3. Распределение средней длины очереди в зависимости от интенсивности движения

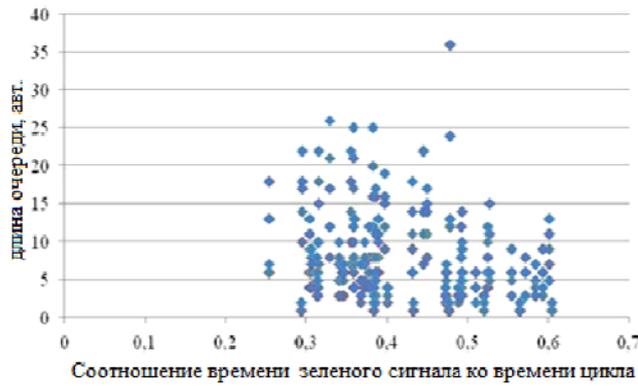


Рис. 4. Распределение длины очереди (экспериментальные данные) в зависимости от интенсивности движения

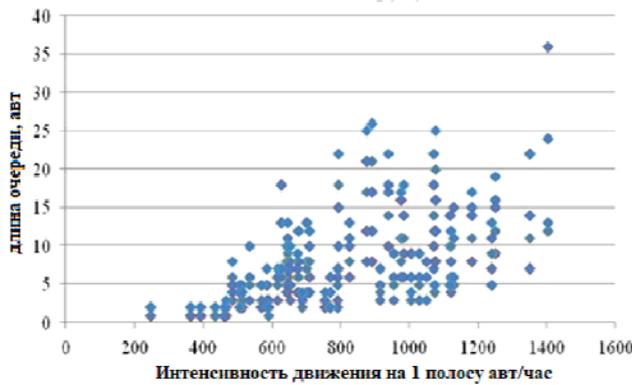


Рис. 5. Распределение длины очереди в зависимости от интенсивности движения, приходящееся на 1 полосу движения

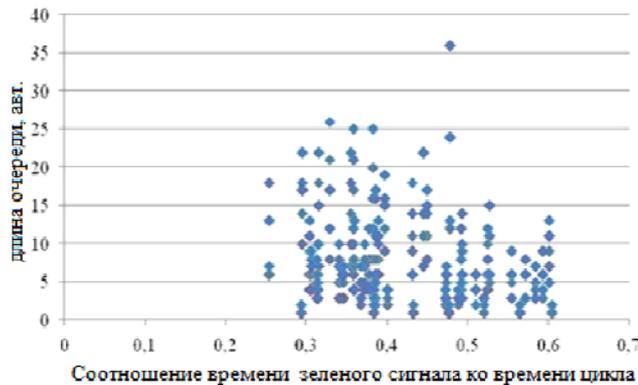


Рис. 6. Распределение длины очереди в зависимости от соотношения времени разрешающего сигнала ко времени цикла

Математическая модель определения длины очереди

Для определения вида функции от перечисленных факторов были использованы экспериментальные данные и программный продукт Statistica. Для определения зависимости между факторами и функцией был выбран линейный вид, имеет следующий вид,

$$y = a_0 + a_1 * x_1 + a_2 * x_2 + \dots + a_n * x_n \quad (4)$$

где a_0, a_1, a_2, a_n - коэффициенты модели; x_1, x_2, x_n - переменные факторы.

Используя данные табл. 1-2 и программный продукт Statistica 6.0 были получены коэффициенты модели и построена линейная математическая модель длины очереди,

$$Q_{очер} = 6,1810 + 0,0061 * N - 5,2706 * n + 0,2124 * t_{кр} - 10,5381 * \frac{t_{зел}}{T_u} \quad (5)$$

где $Q_{очер}$ - длины очереди, авт.; N - интенсивность движения ТС на подходах к перекресткам, авт./час.; n - количество полос движения; $T_u, t_{зел}, t_{кр}$ - время цикла, время запрещающего и разрешающего сигналов светофора соответственно, с.

Во время обработки результатов в программе Statistica, были получены коэффициенты значимости факторов модели (табл. 3). Где видно, что все переменные являются значимыми, что соответствует проведенным исследованиям.

Для проверки полученной модели на адекватность, в качестве критерия был выбран показатель средней ошибки аппроксимации

Таблица 3

Коэффициенты значимости факторов математической модели (5)

Фактор	Значение коэффициента
Интенсивность движения ТС на подходах к перекресткам, авт./час. N	1,281576
Количество полос движения, n	-0,759005
Время запрещающего сигнала светофора, $t_{кр}$	0,375637
Соотношение времени разрешающего сигнала ко времени цикла, $\frac{t_{зел}}{T_u}$	-0,305426

$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i^m - y_i^f}{y_i^f} \right| * 100\% \quad (6)$$

где N - количество наблюдений, ед.; $y_i^m - y_i^f$ - соответственно рассчитанное по модели и фактическое значение зависимой переменной.

Выполнив предварительные подсчеты отклонений фактических данных от экспериментальных рассчитанный показатель средней ошибки аппроксимации составил:

$$\varepsilon = \frac{1}{250} * 10,11 * 100\% = 4,04\%$$

Полученное значение средней ошибки аппроксимации 4,04 % свидетельствует об адекватности разработанной модели определения длины очереди и позволяет использовать ее в практических расчетах.

Дополнительным подтверждением являются адекватные значения других оценочных показателей, полученных в программе Statistica, именно критерий Фишера и множественный коэффициент корреляции, значения которых приведено в табл. 4.

Таблица 4

Оценка адекватности модели (5)

Критерий адекватности	Значение критерия
Показатель средней ошибки аппроксимации, ε	4,04 %
Критерий Фишера, F	
– расчетный	34,915
– табличный	2,65
Множественный коэффициент корреляции, R^2	0,8696

Таким образом, полученная математическая модель определения длины очереди (5) является адекватной условиям движения на УДС и может применяться для практических расчетов при разработке мероприятий по совершенствованию ОДД.

Выводы

В результате экспериментальных исследований на УДС Джизака были определены следующие данные: интенсивность движения ТС на подходах к перекресткам; длительности тактов и времени цикла; количество ТС, находящихся в очереди. Анализ этих данных позволил сформировать представление о распределении длины очереди перед перекрестком в зависимости исследованных факторов.

В результате была получена математическая модель определения длины очереди перед перекрестком, которая зависит от интенсивности движения ТС на подходах к перекресткам, количества полос движения, времени запрещающего сигнала светофора и соотношения времени разрешающего сигнала к времени цикла. Так видно, что интенсивность движения ТС на подходах к перекресткам и время запрещающего сигнала светофора увеличивают длину очереди, а количество полос движения и соотношение времени разрешающего сигнала ко времени цикла наоборот уменьшают ее значение.

При проверке на адекватность было получено значение средней ошибки аппроксимации, что свидетельствует об адекватности разработанной модели длины очереди и позволяет использовать ее в практических расчетах. Дополнительно было получено значение множественного коэффициента корреляции $R^2 = 0,8696$ и расчетное значение критерия Фишера $F_{расч} = 34,915$, которое меньше табличного $F_{табл} = 2,65$, что свидетельствует о значимости полученной регрессии¹.

Список источников

1. Рубцова М.В. Безопасность дорожного движения в России: проблемы и пути их решения // Журнал «Безопасность дорожного движения». 2021. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bezopasnost-dorozhnogo-dvizheniya-v-rossii-problemy-i-puti-ih-resheniya>.

2. Степанов И.В. Совершенствование безопасности дорожного движения с использованием эффективных мер предотвращения дорожно-транспортных происшествий / И.В. Степанов, А.В. Никишкин, В.В. Степановских // Экономика и управление: от теории к практике : сборник статей – Чебоксары: ИД «Среда», 2020. – С. 31-34. – ISBN 978-5-907313-35-4.

3. Рагимов, Э. А. Способы снижения транспортного загрязнения в городах / Э. А. Рагимов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2021. – № 3. – С. 54-56. – DOI: 10.36535/0236-1914-2021-03-10.

4. Калауов С.А. Концептуальные основы обеспечения безопасности дорожного движения в республике Узбекистан // Журнал «Безопасность дорожного движения». 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-obespecheniya-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya-v-respublike-uzbekistan>

5. Zheng, L.; He, Z.; He, T. A flexible traffic stream model and its three representations of traffic flow. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 2017, 75, 136–167.

6. Shinar, D. Traffic Safety and Human Behavior [Text] / D. Shinar. – Elsevier, 2007. – 776 p.

7. Герман М.С., Ермаков А.В. Новые функциональные возможности системы визуализации потоков автотранспорта на элементах улично-дорожной сети / М.С. Герман, А.В. Ермаков //Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. - 2021. - № 80. – С. 1-16. – DOI: 10.20948/prepr-2021-80

8. Kessels, F., Kessels, R., & Rauscher. Traffic flow modelling. Springer International Publishing.

9. Gaddam, H.K.; Rao, K.R. Speed–density functional relationship for heterogeneous traffic data: A statistical and theoretical investigation. J. Mod. Transp. 2019, 27, 61–74.

10. Sacks, G. Impact of front-of-pack traffic-light nutrition labelling on consumer food purchases in the UK [Text] / G. Sacks, M. Rayner, B. Swinburn // Health promotion international. – 2009. – Vol. 24, Issue 4. – P. 344–352. - DOI: 10.1093/heapro/dap032

11. С. Ozan, O. Baskan, S. Haldenbilen e H. Ceylan, “A modified reinforcement learning algorithm for solving coordinated signalized networks,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 54, pp. 40-55, 2015.

Информация об авторе

Эрназаров А. А. – докторант степени доктора философии по кафедре «Наземные транспортные системы»;

Information about the author

Ernazarov A. A. - Ph.D (Techn.), doctoral candidate of the degree of Doctor of Philosophy in the department of "Ground transport systems".

Статья поступила в редакцию 18.03.2022, одобрена после рецензирования 26.04.2022, принята к публикации 17.05.2022.

The article was submitted 18.03.2022, approved after reviewing 26.04.2022, accepted for publication 17.05.2022.