

ТРАНСПОРТ

УДК 656.11

DOI: 10.25198/2077-7175-2021-1-76

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМУЛЫ Ф. ВЕБСТЕРА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДЕРЖКИ НА КОЛЬЦЕВОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ СО СВЕТОФОРНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ И ПРОРЕЗАННЫМ ЦЕНТРАЛЬНЫМ ОСТРОВКОМ

Ю. Я. Комаров¹, С. В. Ганзин², Д. Д. Сильченков³

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

¹ e-mail: yukom45@mail.ru

² e-mail: ganzin_fat@mail.ru

³ e-mail: xdimanx.vstu@mail.ru

Аннотация. Основным методом определения транспортной задержки в отечественной методической и учебной литературе является ее расчет по методике (формуле) Ф. Вебстера (1958 г.), которая основана на теории массового обслуживания. Однако в условиях высокой загрузки дороги или транспортного затора экспериментальные и расчетные данные на простых перекрестках значительно разнятся. Еще противоречивей определение задержек для сложных перекрестков, в частности для кольцевого пересечения со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком (далее КПСРПЦО).

Цель исследования заключается в определении области применения формулы Ф. Вебстера для малоисследованного кольцевого пересечения КПСРПЦО.

В работе впервые рассмотрены вопросы выбора параметров КПСРПЦО в городских условиях, а также представляется методика расчета транспортных задержек в зависимости от различных влияющих факторов. В целях исследования выдвигается гипотеза о том, что применение формулы Вебстера зависит от интенсивностей движения на главной и второстепенной дорогах, степени загрузки по направлениям и транспортного спроса на левоповоротное движение. В соответствии с гипотезой на основе собранных данных производится расчёт транспортных задержек на КПСРПЦО от выбранных факторов.

Для обоснования адекватности расчетов использован метод имитационного моделирования в программном комплексе Aimsun (микромоделирование). На основе данных натурных обследований участка улично-дорожной сети была создана имитационная модель с высокой степенью достоверности, отображающая текущую ситуацию на регулируемом пересечении, а также оценивалась целесообразность применения КПСРПЦО на участке улично-дорожной сети.

Установлены зависимости транспортных задержек от интенсивностей движения на главной и второстепенной дороге, эффективной длительности цикла регулирования по главной дороге, интенсивности движения по кольцу, диаметра островка для КПСРПЦО. Таким образом, на основе полученной математической модели определен диапазон применения формулы Вебстера, на который влияет количество полос движения для главной и второстепенной дорог, степень загрузки по направлениям и количество полос движения по кольцу.

Дальнейшие исследования предполагают разработку методики для расчета параметров КПСРПЦО.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, кольцевое пересечение со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком, формула Вебстера.

Для цитирования: Комаров Ю. Я., Ганзин С. В., Сильченков Д. Д. Определение условий применения формулы Ф. Вебстера по определению транспортной задержки на кольцевом пересечении со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 1. – С. 76–86. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-1-76.

DETERMINATION OF THE CONDITIONS FOR THE APPLICATION OF THE F. WEBSTER FORMULA FOR DETERMINING THE TRANSPORT DELAY AT A CIRCULAR INTERSECTION WITH TRAFFIC LIGHT REGULATION AND A CUT-THROUGH CENTRAL ISLAND

Yu. Ya. Komarov¹, S. V. Ganzin², D. D. Silchenkov³

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

¹ e-mail: atrans@vstu.ru

² e-mail: ganzin_fat@mail.ru

³ e-mail: xdimanx.vstu@mail.ru

Abstract. The main method of determining transport delay in the national methodical and educational literature is its calculation according to the methodology (formula) of F. Webster (1958), which is based on the theory of mass service. However, in conditions of high traffic congestion or traffic congestion, experimental and calculated data at simple intersections vary considerably. The definition of delays for complex intersections, in particular for the Hamburger Through-About Intersection (further HTAI) is also contradictory.

The aim of the study is to improve determine the area of application of F. Webster's formula for a little-studied roundabouts HTAI.

For the first time, the paper addresses the selection of parameters of the HTAI in urban settings, and also introduces a method of calculating transport delays depending on various factors. For the purpose of the study, the hypothesis is put forward that the application of the Webster formula depends on the intensity of traffic on the main and secondary roads, the degree of loading in directions and transport demand for left-turning traffic. According to the hypothesis, on the basis of the collected data, transport delays are calculated on the HTAI from the selected factors.

To justify the adequacy of calculations, the method of simulation in the Aimsun (micro-modeling) software complex is used. On the basis of in-kind surveys of section of the road network, a high-reliability simulation model was created, reflecting the current situation at regulated intersection, and also assessed the feasibility of using the HTAI on a section of the road network.

There are dependencies of transport delays on traffic in the main and secondary road, effective duration of the cycle of regulation on the main road, traffic on roundabout, the diameter of the islet for the HTAI. Thus, based on the resulting mathematical model, the range of application of the Webster formula is defined, which is affected by the number of lanes for the main and secondary roads, the degree of loading in directions and the number of lanes on the ring.

Further research involves the development of a methodology for calculating the parameters of the HTAI.

Keywords: road transport, the Hamburger Through-About Intersection, formula of Webster.

Cite as: Komarov, Yu. Ya., Ganzin, S. V., Silchenkov, D. D. (2021) [Determination of the conditions for the application of the F. Webster formula for determining the transport delay at a circular intersection with traffic light regulation and a cut-through central island]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 1, pp. 76–86. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-1-76.

Введение

Кольцевые пересечения имеют множество классификаций¹ [7, 9–15]. К группе кольцевых пересечений со сложной (нестандартной) планировкой центрального островка относятся перекрестно-кольцевые пересечения со светофорным регулированием, кольцевые пересечения со светофорным регулированием и с прорезанным центральным островком (КПСРПЦО). КПСРПЦО не нашли

широкого применения в организации дорожного движения, хотя в некоторых документах [6] данная группа кольцевых развязок предлагается как дальнейшее развитие кольцевых саморегулируемых пересечений.

КПСРПЦО нашли ограниченное применение на улично-дорожной сети городов: Минск, Самара, Фэрфакс и др. В зарубежной литературе данное пересечение называется Hamburger Through-About

¹ Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Повышение эффективности использования кольцевых развязок [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://base.garant.ru/71802764/> (дата обращения: 13.01.2020) / [Guidelines for the development and implementation of measures to organize traffic. Improving the efficiency of use of roundabouts]. (2016). Available at: <http://base.garant.ru/71802764/> (accessed 13.01.2020). (In Russ.).

Intersection² [15]. На рис. 1 показано КПСРПЦО в г. Фэрфаксе. В ходе анализа нормативно-технической, научной литературы было установлено

отсутствие системной информации о возможности их применения, методик расчета параметров, транспортных задержках и т. д.



Рисунок 1. КПСРПЦО в г. Фэрфаксе
Источник²

В Российской Федерации основным методом определения транспортной задержки является расчет по методике (формуле) Ф. Вебстера (1958 г.), которая основана на теории массового обслуживания [16]. Данная формула приводится во всей методической и учебной литературе по организации дорожного движения, например в ОДМ³. Однако в условиях транспортного затора экспериментальные и расчетные данные на простых перекрестках значительно разнятся [1–5].

Поэтому целью данной работы является определение области применения формулы Ф. Вебстера для малоисследованного кольцевого пересечения КПСРПЦО.

Исследование

Применение КПСРПЦО было предложено для реального перекрестка в г. Волгограде – пересечение пр. им. В. И. Ленина и ул. 7-й Гвардейской бригады. В табл. 1 приведены значения интенсивностей дорожного движения.

В программном комплексе Aimsun была создана и отлажена модель дорожного движения. Сравнение транспортной задержки, полученной в результате моделирования, и рассчитанной по формуле Ф. Вебстера, покажет ошибку. Это объясняется тем, что данная формула плохо подходит для расчета транспортной задержки в условиях транспортного затора (при коэффициенте χ – степень насыщения направления больше 1) [1–5].

² Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/09060/006.cfm> (дата обращения: 04.12.2020). / Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR). – Available at: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/09060/006.cfm> (accessed: 04.12.2020). (In Eng.).

Tollazzi, T. Alternative Types of Roundabouts. An Informational Guide. – Springer International Publishing. – 2015. – 206 p. / Tollazzi, T. (2015). Alternative Types of Roundabouts. An Informational Guide. Springer International Publishing., 206 p. (In Eng.).

³ ОДМ 218.6.003–2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. – 69 с. / ODM 218.6.003. (2011). Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu svetofornykh ob'ektov na avtomobil'nykh dorogakh [Methodical recommendations about design of traffic light objects on highways]. Moscow: Rosavtodor Publ., 69 p. (In Russ.).

ОДМ 218.2.020–2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2012. – 144 с. / ODM 218.2.020. (2012). Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke propusknoy sposobnosti avtomobilnykh dorog [Methodical recommendations for assessing the throughput of highways]. Moscow: Rosavtodor Publ., 144 p. (In Russ.).

Таблица 1 – Интенсивности транспортных потоков на пересечении пр. им. В. И. Ленина и ул. 7-й Гвардейской Бригады

Подход к перекрестку	Тип транспортного средства	Направление движения		
		прямо	направо	налево
1 подход (пр. им. В. И. Ленина направление на север)	Легковой	955	34	226
	Грузовой	2	–	12
	МА и МГТА	144	5	66
	Автобусы/троллейбусы	28	–	–
	Приведенная интенсивность	1259	41,5	355
2 подход (пр. им. В. И. Ленина направление на юг)	Легковой	969	702	144
	Грузовой	4	4	8
	Газели	174	40	22
	Автобусы/троллейбусы	24	6	4
	Приведенная интенсивность	1310	790	209
3 подход (ул. 7-й Гвардейской бригады направление от р. Волга)	Легковой	354	252	0
	Грузовой	8	–	0
	МА и МГТА	–	6	0
	Автобусы/троллейбусы	–	–	0
	Приведенная интенсивность	374	261	0
4 подход (ул. 7-й Гвардейской бригады направление к р. Волга)	Легковой	282	89	378
	Грузовой	–	–	7
	МА и МГТА	11	26	38
	Автобусы/троллейбусы	–	4	8
	Приведенная интенсивность	298,5	140	458,5

Адекватность модели проверялась сравнением ее с существующей дорожной-транспортной ситуацией и сравнением натуральных данных с результатами моделирования (приведено в табл. 2) На рис.

2 показана модель дорожного движения в сравнении с дорожной-транспортной обстановкой на исследуемом перекрестке.

Таблица 2. Проверка адекватности модели по задержкам транспортных средств

Подход	Задержки, полученные при моделировании, с	Натурные задержки, с	Относительная разница, %
1	112	98	12,5
2	108	120	10
3	478	437	8,6
4	304	276	9,2
Средняя разница			9,7

На основании таблицы 2 относительная разница между натурными данными и результатами моделирования составляет менее 10%, что подтверждает возможность проведения на модели математического эксперимента.

Далее данная модель дорожного движения

была усовершенствована в КПСРПЦО (показано на рис. 3).

В таблице 3 приведено сравнение транспортных задержек существующей схемы организации дорожного движения и предлагаемой.

Таблица 3. Транспортные задержки на пересечении до и после модернизации

Подход	Транспортная задержка при существующей схеме, с	Транспортная задержка при применении КПСРПЦО, с	Эффективность, раз
1	112	25,2	4,4
2	108	26,6	4,1
3	478	28,3	16,9
4	304	38,4	7,9
Среднее	250,5	28,9	8,7



Рисунок 2. Сравнение реальной дорожной обстановки с моделью дорожного движения
Источник: разработано Сильченковым Д. Д. в программном комплексе КОМПАС

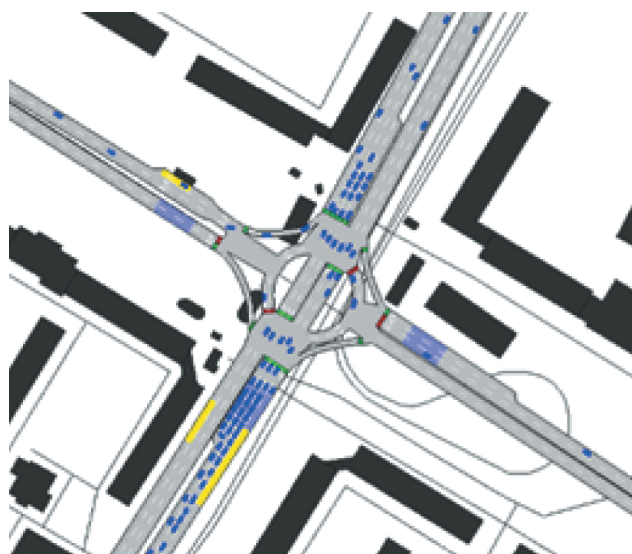


Рисунок 3. Модель дорожного движения со схемой КПСРПЦО
Источник: разработано Сильченковым Д. Д. в программном комплексе Aimsun

На основании таблицы 3 снижение транспортной задержки КПСРПЦО в среднем достигает 8, 7 раз, что подтверждает эффективность данной схемы организации дорожного движения.

После исследования, описанного в [8], была продолжена работа по изучению влияния факторов на транспортные задержки по главной дороге – Y_1 и второстепенной дороге – Y_2 на КПСРПЦО в программном комплексе Aimsun на основе метода последовательного поиска. В табл. 4 приведены переменные, от которых исследовались транс-

портные задержки, их диапазон, шаг. Были выбраны данные переменные, потому что X_1, X_2, X_3, X_4 – значимые переменные в уравнении регрессии [8], а X_5 – основной параметр кольцевой развязки.

После моделирования были получены экспериментальные значения транспортной задержки по главной Y_1 от X_1, X_2, X_3 и Y_2 от X_2, X_3, X_4, X_5 . Был получен достаточно большой объем экспериментальных данных, который обрабатывался в программном комплексе STATISTICA STUDENT EDITION.

Таблица 4. Описание переменных

Переменная	Обозначение	Диапазон	Шаг
Интенсивность транспортного потока, движущегося прямо, приходящаяся на одну полосу, по главной дороге (пр. ед. / час)	X_1	50–1550	50
Интенсивность транспортного потока, движущегося по кольцу, приходящаяся на одну полосу (пр. ед. / час)	X_3	75–225	25
Диаметр островка, м	X_4	40–70	10
Эффективная длительность цикла регулирования по главной дороге ($\frac{t_{\text{зел}}}{T_{\text{цикла}}}$)	X_5	$\frac{30}{96} - \frac{60}{96}$	$\frac{10}{96}$
Интенсивность транспортного потока, движущегося по второстепенной дороге, приходящаяся на одну полосу (пр. ед. / час)	X_6	50–450	50

Ниже на рис. 4 и 5 приведены экспериментальные зависимости в сокращенном виде по одному графику: на рис. 4 – для главной дороги, на рис. 5 – для второстепенной.

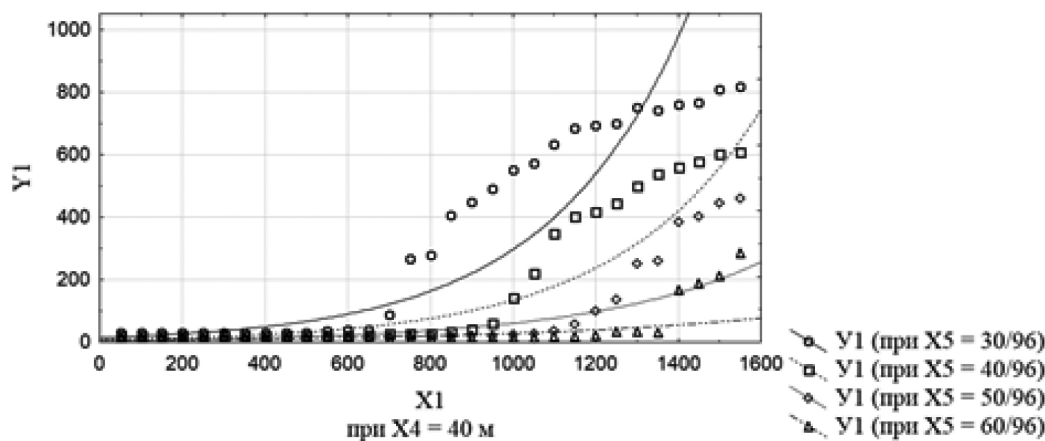


Рисунок 4. Влияние интенсивности транспортного потока (X_1) и эффективной длительности цикла (X_5) на задержку (Y_1)

Источник: разработано Сильченковым Д. Д. на основе экспериментальных данных в программном комплексе STATISTICA STUDENT EDITION

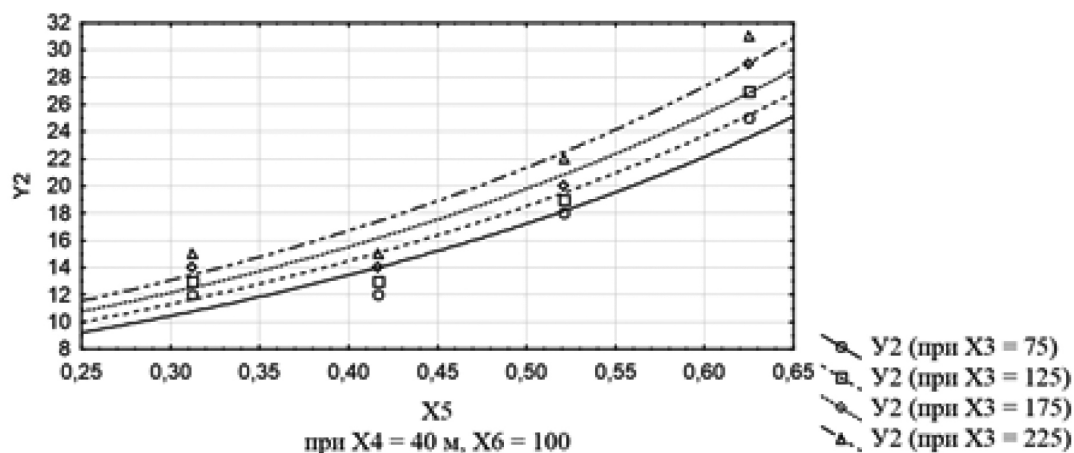


Рисунок 5. Влияние эффективной длительности цикла (X_5) и интенсивности транспортного потока, (X_3) на задержку (Y_2)

Источник: разработано Сильченковым Д. Д. на основе экспериментальных данных в программном комплексе STATISTICA STUDENT EDITION

Интенсивности транспортного потока (X_1) и эффективная длительность цикла (X_3) оказывают влияние на задержку (Y_1) по экспоненциальной зависимости. Диаметр островка (X_4) незначительно влияет на величину задержки (Y_1) по сравнению с интенсивностью транспортного потока и эффективной длительностью цикла.

Интенсивность транспортного потока, движущегося по кольцу, приходящемуся на одну полосу (X_3), эффективная длительность цикла регулирования по главной дороге (X_3), интенсивность транспортного потока, движущегося по второстепенной дороге, приходящаяся на одну полосу (X_6), влияют на транспортную задержку (Y_2) по второстепенной дороге по экспоненциальной зависимости. Диаметр островка (X_4) незначительно влияет на величину задержки (Y_2) по сравнению с интенсивностью транспортного потока, движущегося по кольцу, эффективной длительностью цикла регулирования по главной дороге, интенсивностью транспортного потока, движущегося по второстепенной дороге.

Анализ результатов исследований

После анализа экспериментальных данных было

подтверждено предположение, что диаметр островка КПСРПЦО оказывает незначительное влияние на величины транспортных задержек.

Далее с целью уменьшения влияния диаметра островка и вероятностного распределения транспортных потоков, реализуемого в программном комплексе Aimsun, на величину задержки, соответствующие значения транспортных задержек складывались, и определялось среднее значение Y_1 от X_1 , X_3 и Y_2 от X_3 , X_6 , X_6 . Также для каждого опыта рассчитывалась задержка по формуле Ф. Вебстера.

В табл. 5 представлены усредненные данные по задержкам по главной дороге (Y_1): в столбце «А» показаны значения экспериментальной задержки; в столбце «В» – значение транспортной задержки, рассчитанной по формуле Ф. Вебстера. Значение в столбце «В» в скобках это χ – степень насыщения направления.

Для второстепенной дороги полученные результаты сведены в 4 таблицы (по количеству циклов регулирования) с содержанием аналогичным табл. 5. Для второстепенной дороги в табл. 6 было также проведено сравнение экспериментальной задержки и задержки, рассчитанной по формуле Вебстера.

Таблица 5. Сравнение экспериментальной усредненной задержки (Y_1) и рассчитанной по формуле Вебстера

X_1	Y_1, c							
	$X_3 = 30/96$		$X_3 = 40/96$		$X_3 = 50/96$		$X_3 = 60/96$	
	А	В	А	В	А	В	А	В
50	32	23,3 (0,08)	22	16,8 (0,06)	14	11,3 (0,05)	10	6,9 (0,04)
100	32	23,9 (0,16)	22	17,2 (0,12)	14	11,6 (0,10)	10	7,1 (0,08)
150	32	24,6 (0,24)	22	17,7 (0,18)	15	11,9 (0,15)	10	7,3 (0,12)
200	32	25,2 (0,32)	22	18,2 (0,24)	15	12,3 (0,19)	10	7,5 (0,16)
250	32	26,0 (0,41)	22	18,7 (0,30)	15	12,6 (0,24)	10	7,7 (0,20)
300	32	26,8 (0,49)	22	19,3 (0,37)	15	13,0 (0,29)	10	8,0 (0,24)
350	32	27,6 (0,57)	22	19,9 (0,43)	15	13,4 (0,34)	10	8,2 (0,28)
400	32	28,5 (0,65)	22	20,5 (0,49)	15	13,8 (0,39)	11	8,5 (0,32)
450	32	29,4 (0,73)	23	21,2 (0,55)	16	14,3 (0,44)	11	8,7(0,37)
500	32	30,4 (0,81)	23	21,9(0,61)	16	14,8 (0,49)	11	9,0 (0,41)
550	35	31,5 (0,89)	23	22,6 0,67)	16	15,3 (0,54)	11	9,4 (0,45)
600	38	32,6 (0,97)	24	23,5 (0,73)	17	15,8 (0,58)	11	9,7 (0,49)
650	42	33,8 (1,06)	24	24,3 (0,79)	17	16,4 (0,63)	12	10,1 (0,53)
700	86	35,2 (1,14)	26	25,3 (0,85)	18	17,1 (0,68)	13	10,5 (0,57)
750	193	36,6(1,22)	27	26,3 (0,91)	18	17,8(0,73)	12	10,9 (0,61)
800	208	38,2 (1,30)	29	27,5 (0,97)	19	18,5 (0,78)	13	11,4 (0,65)
850	336	39,9 (1,38)	35	28,7 (1,04)	20	19,4 (0,83)	14	11,9 (0,69)
900	399	41,7 (1,46)	41	30,0 (1,10)	21	20,3 (0,88)	14	12,4 (0,73)
950	457	43,7 (1,54)	52	31,5 (1,16)	22	21,3 (0,93)	14	13,0 (0,77)
1000	520	46,0 (1,62)	111	33,1 (1,22)	23	22,4 (0,97)	15	13,7 (0,81)
1050	560	48,5 (1,71)	177	34,9 (1,28)	25	23,6 (1,02)	16	14,4 (0,85)

Продолжение таблицы 5

1100	614	51,3 (1,79)	321	36,9 (1,34)	32	24,9 (1,07)	17	15,3 (0,89)
1150	665	54,4 (1,87)	367	39,1 (1,40)	44	26,4 (1,12)	19	16,2 (0,93)
1200	675	57,9 (1,95)	405	41,6 (1,46)	88	28,2 (1,17)	21	17,3 (0,97)
1250	686	61,9 (2,03)	421	44,5 (1,52)	129	30,1 (1,22)	23	18,4 (1,02)
1300	716	66,6 (2,11)	465	47,8 (1,58)	202	32,4 (1,27)	29	19,8 (1,06)
1350	723	71,9 (2,19)	494	51,7 (1,64)	249	35,0(1,32)	29	21,4 (1,10)
1400	736	78,2 (2,27)	529	56,2 (1,71)	346	38,0 (1,36)	71	23,3 (1,14)
1450	748	85,8 (2,36)	546	61,6 (1,77)	366	41,7 (1,41)	105	25,5 (1,18)
1500	774	94,9 (2,44)	571	68,2 (1,83)	406	46,1 (1,46)	163	28,3 (1,22)
1550	778	106,2(2,52)	590	76,3 (1,89)	436	51,6 (1,51)	271	31,6 (1,26)

На основании таблицы 5 для главной дороги экспериментальные и расчетные значения транспортной задержки сходятся при $\chi \leq 1$.

Таблица 6. Сравнение экспериментальной усредненной задержки (Y_2) и рассчитанной по формуле Вебстера при эффективной длительности цикла регулирования 60/96 (X_3)

X_3 пр. ед./ час	Y_2, c													
	$X_3 = 75,$ пр. ед./ час		$X_3 = 100,$ пр. ед./ час		$X_3 = 125,$ пр. ед./ час		$X_3 = 150,$ пр. ед./ час		$X_3 = 175,$ пр. ед./ час		$X_3 = 200,$ пр. ед./ час		$X_3 = 225,$ пр. ед./ час	
	A	B	A	B	A	B	A	цB	A	B	A	B	A	B
50	23	23,6 (0,12)	24	23,6 (0,12)	24	23,6 (0,12)	26	23,6 (0,12)	27	23,6 (0,12)	28	23,6 (0,12)	29	23,6 (0,12)
100	24	24,5 (0,24)	25	24,5 (0,24)	26	24,5 (0,24)	28	24,5 (0,24)	29	24,5 (0,24)	30	24,5 (0,24)	32	24,5 (0,24)
150	26	25,5 (0,36)	27	25,5 (0,36)	29	25,5 (0,36)	30	25,5 (0,36)	32	25,5 (0,36)	39	25,5 (0,36)	41	25,5 (0,36)
200	27	26,6 (0,48)	28	26,6 (0,48)	30	26,6 (0,48)	33	26,6 (0,48)	38	26,6 (0,48)	47	26,6 (0,48)	54	26,6 (0,48)
250	27	27,7 (0,60)	30	27,7 (0,60)	32	27,7 (0,60)	50	27,7 (0,60)	85	27,7 (0,60)	118	27,7 (0,60)	130	27,7 (0,60)
300	30	28,9 (0,72)	36	28,9 (0,72)	55	28,9 (0,72)	142	28,9 (0,72)	207	28,9 (0,72)	224	28,9 (0,72)	248	28,9 (0,72)
350	36	30,2 (0,84)	59	30,2 (0,84)	144	30,2 (0,84)	238	30,2 (0,84)		30,2 (0,84)		30,2 (0,84)		30,2 (0,84)
400	108	31,6 (0,96)	176	31,6 (0,96)		31,6 (0,96)		31,6 (0,96)		31,6 (0,96)		31,6 (0,96)		31,6 (0,96)
450	169	33,1 (1,08)		33,1 (1,08)		33,1 (1,08)		33,1 (1,08)		33,1 (1,08)		33,1 (1,08)		33,1 (1,08)
500	224	34,7 (1,20)		34,7 (1,20)		34,7 (1,20)		34,7 (1,20)		34,7 (1,20)		34,7 (1,20)		34,7 (1,20)

На основании таблицы 6 для второстепенной дороги экспериментальные и расчетные значения транспортной задержки сходятся при $\chi \leq 0,72$.

Проведенные исследования показали, что транспортная задержка зависит от исследуемых факторов по экспоненциальной зависимости.

Заключение

В ходе работы были получены экспериментальные зависимости транспортной задержки от исследуемых факторов.

Зависимости носят экспоненциальный характер, что не противоречит данным, приведенным в «Методических рекомендациях по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения»¹.

Проведенное исследование показало незначительное влияние диаметра транспортной развязки (островка) на величины задержек по главному и второстепенному направлению, что также подтверждается работой [8].

В РФ формула Ф. Вебстера дается как основная для определения транспортной задержки на регулируемом пересечении в нормативно-технической и научной литературе. Это объясняется простотой и легкостью в использовании. Однако в предзаторовых и заторовых условиях движения транспортных потоков расчетные значения, полученные с ее помощью, значительно отличаются от экспериментальных данных, данных полученных при моделировании или рассчитанных по другим методикам. Для рассматриваемой транспортной развязки, в силу специфики организации дорожного движения, были получены следующие рекомендации: при степени насыщенности направления меньше 1 ($\chi \leq 1$) для главной дороги и меньше

0,72 ($\chi \leq 0,72$) для второстепенной дороги можно использовать формулу Ф. Вебстера для расчета транспортной задержки на КПСРПЦО, что является научной новизной проведенных исследований. Данные рекомендации хорошо согласуются с выводами других авторов о возможностях применения формулы Ф. Вебстера для обычных регулируемых пересечений.

Данное исследование будет полезно для создания рекомендаций по применению и использованию схемы дорожного КПСРПЦО, актуализирования методических рекомендаций по кольцевым пересечениям, потому что на кольцевых пересечениях в крупных городах в часы пик наблюдаются в основном предзаторовые и заторовые ситуации.

Литература

1. Андронов Р. В. К вопросу о методах оценки задержек транспортных средств на регулируемом пересечении // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 34–37.
2. Андронов Р. В., Кривошеин Р. С., Низовских Е. В. Подходы к решению проблемы перегрузки транспортного пересечения на магистральной дороге регулируемого движения // Наука сегодня: задачи и пути их решения: материалы международной научно-технической конференции (Вологда, 27 мая 2020 г.). – Вологда, 2020. – С. 9–12.
3. Андронов Р. В., Леверенц Е. Э. Расчет методом Монте-Карло задержек транспортных средств на изолированном регулируемом пересечении при его работе на высоких уровнях загрузки // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 1 (60). – С. 221–226.
4. Лагерева Р. Ю., Левашев А. Г. Анализ алгоритмов оценки показателей функционирования регулируемых пересечений в условиях перенасыщения сети [Электронный ресурс] // Транспортная лаборатория ИрГТУ. – Режим доступа: http://transport.istu.edu/downloads/cong_net_3.pdf (дата обращения: 26.11.2020).
5. Магомедов Ф. М., Меликов И. М. Моделирование транспортной задержки на регулируемом пересечении // Вестник аграрной науки Дона. – 2014. – № 4 (28) – С. 17–22.
6. Руководство по проектированию городских улиц и дорог / Центр. н.-иссл. и проектный ин-т по градостроительству Госгражданстроя. – М: Стройиздат, 1980. – 222 с.
7. Зедгенизов А. В., Лагерева Р. Ю., Левашев А. Г., Липницкий А. С., Михайлов А. Ю., Шаров М. И. Современные кольцевые пересечения. – Иркутск: ИрГТУ, 2009. – 106 с.
8. Сильченков Д. Д., Лемешкин А. В., Комаров Ю. Я., Метлев В. С. Исследование транспортных задержек на кольцевом пересечении со светофорным регулированием и прорезанным центральным островком // Строительные и дорожные машины. – 2020. – № 4. – С. 27–30.
9. Brilon W., Vendhey M. Roundabouts. – The State of the Art in Germany // ITE Journal. – November 1998, № 68 (11). – p. 48–54.
10. Brilon W. Roundabouts : A State of the Art in Germany. National Roundabout Conference, Vail, Colorado; May 22–25, 2005. – 15 p.
11. Guichet B. Evolution of Roundabouts in France and their New Uses. National Roundabout Conference, Vail, Colorado; May 22–25, 2005. – 7 p.
12. Bared J., Courage K., Cunard R. and etc. Modern Roundabout Practise in United States. // NCHRP Synthesis of TRB № 264. – Washington DC, National academy press, 1998. – 82 p.
13. Redington, T. The Modern Roundabout Arrives in Vermont // AASHTO Quarterly Magazine, 1995, Vol. 75, No. 1, pp. 11–12.
14. Tollazzi T., Renčelj M., Turnšek, S. New type of roundabout: roundabout with “depressed” lanes for right turning – “flower roundabout”, Promet // Traffic&Transportation. – 2011. – № 23. – p. 353–358.
15. Tollazzi T., Renčelj M. Modern and Alternative Types of Roundabouts – State of the Art // Proceedings from the 9th International Conference “Environmental Engineering”, Vilnius, Lithuania. – 2014. – 7 p.
16. Webster F. V. Traffic Signal Settings. Road Research Technical Paper No. 39. London: Great Britain. Road Research Laboratory, 1958. – 44 p.

References

1. Andronov, R. V. (2014). [To the issue of assessment techniques of vehicle delays at regulated intersections].

Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya. [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region]. Vol. 4, pp. 34–37. (In Russ.).

2. Andronov, R. V., Krivoshein, R. S., Nizovskikh, E. V. (2020) [Approaches to solving the problem of overloading a transport intersection on the main road of regulated traffic]. *Nauka segodnya: zadachi i puti ikh resheniya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Science today: problems and ways of their solution: materials of scientific-practical Conf.]. Vologda: Marker Publ., pp. 9–12. (In Russ.).

3. Andronov, R. V., Leverents, E. Eh. (2017). [Calculation of vehicles delay at an isolated regulated intersection characterized with a high value of traffic load coefficient using the Monte Carlo technique]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. [Bulletin of civil engineers]. Vol. 1 (60), pp. 221–226. (In Russ.).

4. Lagerev, R. Yu., Levashev, A. G. (2009). [Analiz algoritmov otsenki pokazateley funktsionirovaniya reguliruyemykh peresecheniy v usloviyakh perenasyscheniya seti]. *Transportation laboratory of ISTU*. Available at: http://transport.istu.edu/downloads/cong_net_3.pdf / (accessed 26.11.2020) (In Russ.).

5. Magomedov, F. M., Melikov, I. M. (2014). [Modeling of transport delays at a regulated intersection]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. [Bulletin of Agrarian Science of the Don]. Vol. 4 (28), pp. 17–22. (In Russ.).

6. [A guide to designing city streets and roads]. (1980). *Centr. n.-issl. i proektny'j in-t po gradostroitel'stvu Gosgrazhdanstroya* [Central Research and Design Institute for Urban Planning of the State Citizens]. Moscow: Strojizdat Publ., 222 p. (In Russ.).

7. Zedgenizov, A. V., Lagerev, R. Yu., Levashev, A. G., Lipnitsky, A. S., Mikhailov, A. Yu., Sharov, M. I. (2009). [Modern roundabout intersections]. Irkutsk: IrGTU Publ., 106 p. (In Russ.).

8. Silchenkov, D. D., Lemeshkin, A. V., Komarov, Yu. Ya., Metlev, V. S. (2020). [Research of transport delays on Hamburger Through-About Intersection]. *Stroitelnyye i dorozhnyye mashiny*. [Construction and road machines]. Vol. 4, pp. 27–30. (In Russ.).

9. Brilon, W., Vendhey, M. (1998). Roundabouts. The State of the Art in Germany. *ITE Journal*, November 1998, № 68 (11), pp. 48–54.

10. Brilon, W. (2005). [Roundabouts]. A State of the Art in Germany // National Roundabout Conference, Vail, Colorado; May 22–25, 2005. 15 p.

11. Guichet B. (2005). Evolution of Roundabouts in France and their New Uses. *National Roundabout Conference, Vail, Colorado*; May 22–25, 2005. 7 p. (In Engl.).

12. Bared, J., Courage, K., Cunard, R. and etc. (1998) Modern Roundabout Practise in United States. Ed. G. Jacquemart. NCHRP Synthesis of TRB № 264. Washington DC, National academy press. 82 p.

13. Redington, T. (1995) The Modern Roundabout Arrives in Vermont. *AASHTO Quarterly Magazine*, Vol. 75, No. 1, pp. 11–12. (In Engl.).

14. Tollazzi, T.; Renčelj, M.; Turnšek, S. (2011) New type of roundabout: roundabout with «depressed» lanes for right turning – «flower roundabout», Promet. *Traffic&Transportation*. Vol. 23: pp. 353–358. (In Engl.).

15. Tollazzi, T., Renčelj, M. (2014) Modern and Alternative Types of Roundabouts]. State of the Art. *Proceedings from the 9th International Conference «Environmental Engineering», Vilnius, Lithuania*, 7 p. (In Engl.).

16. Webster, F. V. (1958). Traffic Signal Settings. Road Research Technical Paper no. 39. London: Great Britain Road Research Laboratory, 44 p.

Информация об авторах:

Юрий Яковлевич Комаров, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

Scopus Author ID: 57207111861

e-mail: yukom45@mail.ru

Сергей Валерьевич Ганзин, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

Scopus Author ID: 57207106099

e-mail: ganzin_fat@mail.ru

Дмитрий Дмитриевич Сильченков, старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

Scopus Author ID: 57212171278

e-mail: xdimanx.vstu@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 25.11.2020; принята в печать: 12.02.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Yuri Yakovlevich Komarov, PhD in Technical Sciences, associate professor, associate professor of the department of automobile transport, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Scopus Author ID: 57207111861

e-mail: yukom45@mail.ru

Sergey Valerievich Ganzin, PhD in Technical Sciences, associate professor, associate professor of the department of automobile transport, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Scopus Author ID: 57207106099

e-mail: ganzin_fat@mail.ru

Dmitry Dmitrievich Silchenkov, Senior Lecturer, Department of automobile transport, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Scopus Author ID: 57212171278

e-mail: xdimanx.vstu@mail.ru

The paper was submitted: 25.11.2020.

Accepted for publication: 12.02.2021.

The authors have read and approved the final manuscript.