

Определение параметров управления для обеспечения приоритетного проезда регулируемых пересечений общественным транспортом

А.А. Мирончук, В.С. Юрова

Донской государственный технический университет

Аннотация: В статье рассматривается приоритетный проезд регулируемых пересечений общественным транспортом с использованием метода продления разрешающего сигнала. Актуальность рассматриваемой задачи обусловлена недостаточным исследованием вопроса выбора оптимальных параметров управления для метода продления разрешающего сигнала. С помощью имитационного моделирования было выполнено исследование процесса управления приоритетным проездом на двух- и трехполосных участках дорог. В ходе проведения экспериментов были определены зависимости между временем продления разрешенного сигнала светофора и длительностью цикла при различном соотношении фазовых коэффициентов, а также оптимальное расстояние установки детекторов для активации приоритета. Полученные результаты исследовательской работы могут быть использованы при проектировании городской интеллектуальной транспортной системы и при корректировке режимов управления в автоматизированной системе управления дорожным движением городской агломерации.

Ключевые слова: приоритетное движение городского пассажирского транспорта, детекторы транспорта, интеллектуальная транспортная система, имитационное моделирование, параметры светофорного регулирования.

Как показывает анализ функционирования транспортных систем российских городов согласно Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, существует необходимость в организации приоритетного движения городского пассажирского транспорта (ГПТ), как способа повышения привлекательности и качества пассажирских перевозок. Реализация различных методов организации приоритета позволяет стимулировать переход населения от индивидуальных автомобилей к общественному транспорту [1-3]. В России задача повышения скорости ГПТ в основном решается за счет выделения полос для маршрутных транспортных средств [4]. С развитием интеллектуальных транспортных систем появилась возможность кроме выделенных полос реализовывать также методы приоритетного проезда пересечений. Обычно в мировой практике используется три метода: продление разрешающего сигнала, сокращение запрещающего сигнала и вызов специальной фазы для ГПТ [5-7]. Анализ литературных источников показывает, что в отечественных методических документах по расчету параметров светофорного регулирования уделяется недостаточно внимания задачам приоритетного пропуска ГПТ. Поэтому в рамках данной работы было принято

решение выполнить исследование эффективной области применения метода продления зеленого сигнала.

Исследование проводилось с помощью имитационного моделирования в специализированном программном обеспечении Aimsun. На рисунке 1 представлена модель изолированного пересечения двухполосных дорог.

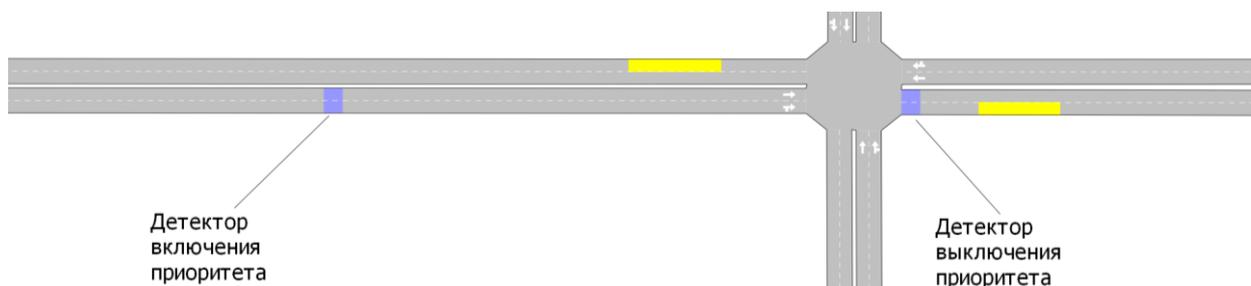


Рис. 1. – Моделируемое пересечение

Оценка возможности предоставления приоритета происходит в момент пересечения первого детектора автобусом. И если в этот момент включен зеленый сигнал, происходит коррекция текущей фазы в сторону увеличения. Чтобы оценить эффект от продления разрешающей фазы для ГПТ была использована методика, изложенная в методических рекомендации по обоснованию целесообразности выделения полос для движения ГПТ от Российской академии транспорта [8-10].

Для положительного эффекта при продлении разрешающего сигнала для ГПТ должно выполняться условие (1):

$$D_{\text{сумм}}^{\text{кор}} < D_{\text{сумм}}^0, \quad (1)$$

$D_{\text{сумм}}^0$ - суммарная задержка на пересечении при обычном режиме регулирования, с/за цикл;

$D_{\text{сумм}}^{\text{кор}}$ - суммарная задержка на пересечении при скорректированном режиме регулирования, с/за цикл.

Необходимо понимать, что кроме экономии времени пассажирами автобуса, произойдет увеличение задержки для пассажиров легковых автомобилей, остановившихся на красный сигнал во второй фазе. Если прогнозируемое время прибытия автобуса к стоп-линии будет попадать на окончание красного сигнала, то нет смысла включать приоритет, так как отрезок продления будет слишком большим. И из-за этого легковые автомобили во второй фазе получают суммарную задержку больше, чем выигрыш автобуса от включения приоритета, то есть условие (1) выполняться не будет.

При выполнении экспериментальной части рассматривалось постепенное увеличение интенсивности транспортного потока и оптимальные для этой нагрузки фазовые коэффициенты. В таблице №1 представлены исследуемые параметры светофорного регулирования.

Таблица №1

Исследуемые параметры светофорного регулирования

№	y_1 / y_2	Фазовые коэффициенты		$Y = y_1 + y_2$	T, c	Продолжительность фазы, с		T_n, c
		y_1	y_2			t_1	t_2	
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1	0,5	0,17	0,33	0,5	28	7	15	6
1.2		0,2	0,4	0,6	36	10	20	6
1.3		0,23	0,47	0,7	46	14	26	6
1.4		0,27	0,53	0,8	70	21	43	6
1.5		0,28	0,56	0,84	88	27	55	6
1.6		0,29	0,59	0,88	116	37	73	6
2.1	1,0	0,25	0,25	0,5	28	11	11	6
2.2		0,3	0,3	0,6	36	15	15	6
2.3		0,35	0,35	0,7	46	20	20	6
2.4		0,4	0,4	0,8	70	32	32	6
2.5		0,42	0,42	0,84	88	41	41	6
2.6		0,44	0,44	0,88	116	55	55	6

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9
3.1	2,0	0,33	0,17	0,5	28	15	7	6
3.2		0,4	0,2	0,6	36	20	10	6
3.3		0,47	0,23	0,7	46	26	14	6
3.4		0,53	0,27	0,8	70	43	21	6
3.5		0,56	0,28	0,84	88	55	27	6
3.6		0,59	0,29	0,88	116	73	37	6

Статистика о результатах моделирования снималась с интервалом, равным циклу светофорного регулирования. Эксперименты продолжались до того момента, пока не наступало равенство между показателями суммарной задержки:

$$D_{сумм}^{кор} = D_{сумм}^0, \quad (2)$$

Равенство (2) означает, что дальнейшее увеличение периода продления будет приводить к ухудшению ситуации в целом. В таблице №2

представлены значения продления разрешающего сигнала при $D_{сумм}^{кор} = D_{сумм}^0$, для двухполосного пересечения.

Таблица №2

Максимальное продление разрешающего сигнала для двухполосного пересечения

№	Изменение задержки движения, с/за цикл			$D_{сумм}^{кор} - D_{сумм}^0$	Продление разрешающего сигнала	
	ΔD_1	ΔD_2	ΔD_{busl}		в секундах	% от фазы 1
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7
1.1	-52,0	318,9	-266,9	0	12	80,2%
1.2	-90,1	575,1	-484,9	0	15	73,1%
1.3	-139,1	956,0	-816,8	0	17	65,1%
1.4	-319,7	2058,4	-1738,6	0	24	55,1%
1.5	-428,1	2956,1	-2527,9	0	27	48,9%
1.6	-564,6	4401,6	-3836,9	0	30	41,6%
2.1	-44,4	208,9	-164,7	0	9	83,4%
2.2	-84,9	392,9	-308,0	0	12	77,2%
2.3	-145,2	683,7	-538,6	0	14	70,1%
2.4	-294,7	1493,5	-1198,8	0	19	58,4%
2.5	-401,8	2176,0	-1774,2	0	21	51,9%
2.6	-550,5	3309,4	-2759,0	0	24	44,3%
3.1	-26,1	105,6	-79,6	0	6	87,4%
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7
3.2	-58,2	211,3	-153,0	0	8	83,0%
3.3	-118,0	396,6	-278,6	0	11	77,9%
3.4	-208,8	869,4	-660,6	0	14	65,0%
3.5	-299,3	1297,2	-997,9	0	16	58,9%
3.6	-452,8	2066,8	-1614,1	0	19	51,5%

По описанному выше принципу проводилось моделирование и для пересечения трехполосных дорог. В таблице №3 представлены значения продления разрешающего сигнала при достижении равенства (2).

Таблица 3

Максимальное продление разрешающего сигнала для трехполосного пересечения

№	Изменение задержки движения, с/за цикл			$D_{сумм}^{кор} - D_{сумм}^0$	Продление разрешающего сигнала	
	ΔD_1	ΔD_2	ΔD_{busl}		в секундах	% от фазы 1
1.1	-65,1	425,3	-360,1	0	11	73,3%
1.2	-106,6	739,0	-632,4	0	13	64,9%

1.3	-154,6	1183,4	-1028,7	0	15	56,0%
1.4	-330,6	2430,9	-2100,3	0	20	45,7%
1.5	-423,8	3406,3	-2982,4	0	22	39,7%
1.6	-529,9	4937,9	-4408,0	0	24	32,9%
2.1	-56,8	284,7	-227,9	0	8	77,0%
2.2	-102,6	517,3	-414,7	0	10	69,3%
2.3	-164,8	867,5	-702,7	0	12	61,0%
2.4	-302,8	1791,2	-1488,5	0	15	48,3%
2.5	-391,7	2537,2	-2145,5	0	17	41,9%
2.6	-505,1	3741,5	-3236,4	0	19	34,6%
3.1	-34,5	147,6	-113,1	0	6	82,0%
3.2	-73,6	287,8	-214,1	0	8	76,2%
3.3	-141,5	523,8	-382,3	0	10	69,7%
3.4	-222,0	1076,9	-854,8	0	12	54,8%
3.5	-300,7	1558,9	-1258,1	0	13	48,2%
3.6	-425,1	2397,6	-1972,4	0	15	40,8%

В таблицах №2 и №3 обозначения ΔD_1 и ΔD_2 - это изменение задержки пассажиров для индивидуальных транспортных средств для первой и второй фазы регулирования соответственно, а ΔD_{busl} - это изменение задержки пассажиров автобуса для первой фазы регулирования.

На рисунках 2 и 3 представлены зависимости между временем продления разрешенного сигнала и длительностью цикла при различном соотношении фазовых коэффициентов.

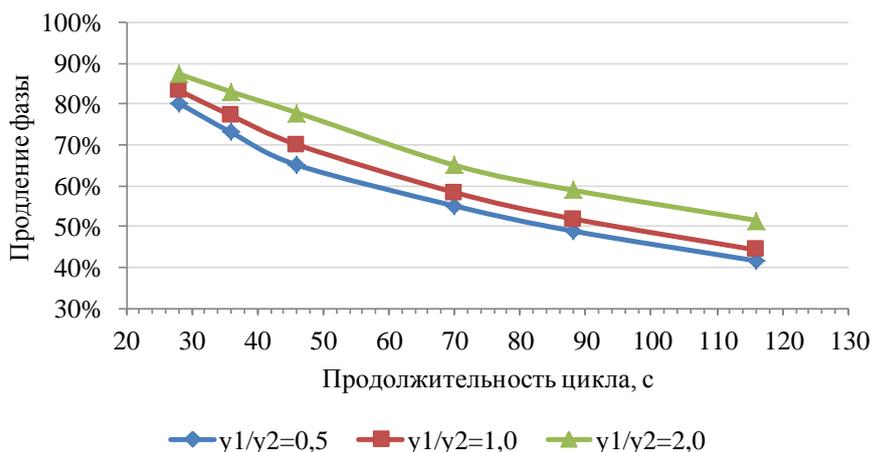


Рис. 2. – Изменение продления разрешающего сигнала в зависимости от длительности цикла при различных фазовых коэффициентах для пересечения двухполосных дорог

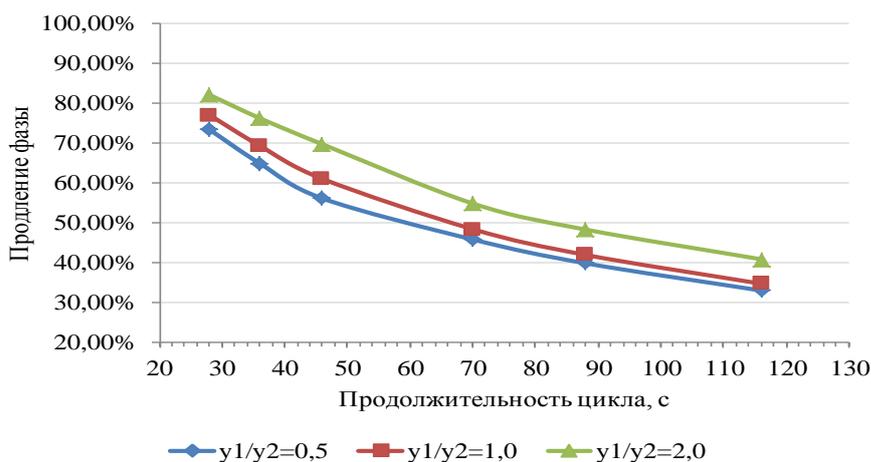


Рис. 3. – Изменение продления разрешающего сигнала в зависимости от длительности цикла при различных фазовых коэффициентах для пересечения трехполосных дорог

В таблице №4 представлены уравнения, описывающие зависимости, показанные на рисунках 1 и 2.

Таблица №4

Уравнения зависимости времени продления разрешающего сигнала от длительности цикла при различном соотношении фазовых коэффициентов и числа пересекающихся дорог

Фазовые коэффициенты	Уравнение зависимости и величина достоверности аппроксимации	
	Двухполосное пересечение	Трехполосное пересечение
y1/y2=0,5	$y = 3,7113x^{-0,455}$ $R^2 = 0,9946$	$y = 4,7159x^{-0,555}$ $R^2 = 0,9967$
y1/y2=1,0	$y = 3,7708x^{-0,445}$ $R^2 = 0,9912$	$y = 5,1559x^{-0,562}$ $R^2 = 0,9948$
y1/y2=2,0	$y = 3,1947x^{-0,378}$ $R^2 = 0,9832$	$y = 4,5639x^{-0,502}$ $R^2 = 0,9876$

На основе значений времени продления разрешающего сигнала и средней скорости движения автобуса было определено расстояние установки детекторов от стоп-линии. Среднюю скорость движения автобуса принимаем

равной 45 км/ч. В таблицах №5 и №6 представлены результаты расчета для оптимального расстояния установки детекторов.

Таблица №5

Расстояние установки детекторов перед пересечением двухполосных
дорог

№	Продление разрешающего сигнала, с	Количество автомобилей в очереди на одну полосу, авт	Длина очереди, м	Расстояние установки детектора №1 (основного), м	Расстояние установки детектора №2 (дополнит.), м
1	2	3	4	5	6
1.1	12	2	10	150	10
1.2	15	3	13	183	13
1.3	17	4	20	212	20
1.4	24	7	35	296	35
1.5	27	9	45	336	45
1.6	30	12	60	380	60
2.1	9	2	10	115	10
2.2	12	4	18	145	18
2.3	14	5	25	175	25
2.4	19	8	40	234	40
1	2	3	4	5	6
2.5	21	11	53	266	53
2.6	24	14	70	304	70
3.1	6	3	13	76	13
3.2	8	4	18	104	18
3.3	11	5	25	136	25
3.4	14	8	38	171	38
3.5	16	10	50	199	50
3.6	19	14	68	238	68

Таблица №6

Расстояние установки детекторов перед пересечением трехполосных
дорог

№	Продление разрешающего сигнала, с	Количество автомобилей в очереди на одну полосу, авт	Длина очереди, м	Расстояние установки детектора №1 (основного), м	Расстояние установки детектора №2 (дополнит.), м
1.1	11	4	20	137	20
1.2	13	3	15	162	15

1.3	15	4	20	182	20
1.4	20	7	35	246	35
1.5	22	9	45	273	45
1.6	24	12	60	300	60
2.1	8	2	10	106	10
2.2	10	3	15	130	15
2.3	12	5	25	152	25
2.4	15	8	40	193	40
2.5	17	10	50	215	50
2.6	19	14	70	238	70
3.1	6	2	10	72	10
3.2	8	3	15	95	15
3.3	10	5	25	122	25
3.4	12	8	40	144	40
3.5	13	10	50	163	50
3.6	15	13	65	189	65

В заключение можно сделать следующие выводы:

- научная ценность работы заключается в полученных зависимостях между временем продления разрешенного сигнала и длительностью цикла при различном соотношении фазовых коэффициентов для пересечения двухполосных и трехполосных дорог;

- на основе полученных зависимостей было определено оптимальное расстояние установки основного и дополнительного детекторов транспорта, что может быть использовано при планировании развития интеллектуальной транспортной системы;

- практическая ценность работы заключается в возможности оптимальной настройки режимов светофорного регулирования для обеспечения приоритетного проезда ГПТ для существующих систем автоматизированного управления дорожным движением.

Литература

1. Белова А. М. Методика обоснования целесообразности выделения полос для движения маршрутного транспорта общего пользования: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Спб., 2014. 159 с.

2. Вучик В. Р, под ред. Блинкиной М.Я. / Транспорт в городах, удобных для жизни. М.: Территория будущего, 2011. 576 с.

3. Горев А. Э. Основные принципы организации приоритета транспорта общего пользования // Путевой навигатор. 2018. №34(60). С. 47-55.

4. Горев А. Э., Солодский А. И., Попова О. В. Формирование коридоров приоритетного движения городского пассажирского транспорта // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации. Иркутск: ИРНТУ, 2019. С. 618-628.

5. Currie, G., M. Sarvi and B. Young, 2007. A new approach to evaluating on-road public transport priority projects: balancing the demand for limited road-space. *Transportation*, 34: 413-428.

6. Wu, J. and N. Hounsel, 1998. Bus priority using pre-signals. *Transportation research part A: Policy and practice*, 32: 563-583.

7. Мирончук А.А. Граничные условия организации приоритетного движения автобусов с использованием метода разнесенных стоп-линий // Инженерный вестник Дона. 2012. №4. (часть 1). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1100/.

8. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1707/.

9. Зырянов В. В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий // Инженерный вестник Дона, 2011, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/709/.

10. Фиалкин В.В., Е. И. Колесников Моделирование транспортного спроса в г. Ростове-на-Дону для изучения нагрузки на улично-дорожную сеть // Молодой исследователь Дона. 2020. №5. URL: mid-journal.ru/upload/iblock/eb9/12_1121-Fialkin_64_70.pdf

References

1. Belova A. M. Metodika obosnovaniya tselesoobraznosti vydeleniya polos dlya dvizheniya marshrutnogo transporta obshchego pol'zovaniya [Methodology for substantiating the expediency of allocating lanes for the movement of public route transport]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.01. Spb., 2014. 159 p.



2. Vuchik V. R, pod red. Blinkinoy M.YA. Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni [Transport in cities that are comfortable for life]. M.: Territoriya budushchego, 2011. 576 p.
3. Gorev A. E. Putevoy navigator. 2018. №34 (60). p. 47-55.
4. Gorev A. E., Solodskiy A. I., Popova O. V. Bezopasnost' kolësnnykh transportnykh sredstv v usloviyakh ekspluatatsii. Irkutsk: IRNITU, 2019. p. 618-628.
5. Currie, G., M. Sarvi and B. Young, 2007. Transportation, 34: 413-428.
6. Wu, J. and N. Hounsel, 1998. Transportation research part A: Policy and practice, 32: 563-583.
7. Mironchuk A.A Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №4. (chast' 1). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1100/.
8. Zyryanov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1707/.
9. Zyryanov V. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/709/.
10. Fialkin V.V., Kolesnikov E. I. Molodoy issledovatel' Dona. 2020. №5. URL: mid-journal.ru/upload/iblock/eb9/12_1121-Fialkin_64_70.pdf