Таким образом, принятая методика испытания кратковременной нагрузкой позволила выявить изменение дифференциального коэффициента поперечной деформации $\Delta\gamma$ и установить границы начала микроразрушения R_T° и микротрещинообразования R_T^{γ}, а также определить положительное воздействие добавок полиакрилатов на деформативные свойства бетона, что способствует повышению стойкости бетона в агрессивных средах.

Список литературы

[1]. www.portol.spp ru/city/index.pht/2.

[2].Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М., 1971, 126 с.

[3].Берг О.Я., Хромец Ю.И. Влияние длительного загружения на прочность и деформативные свойства бетонов.//Труды ЦНИПС. М., Транспорт, 1966, вып.60, с.12-13.

УДК 656.135.073

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ЗАДЕРЖКИ ВЕБСТЕРА

Георгий Д. Антониади, Владимир О. Архипов, Александр А. Цуприков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВО «КубГТУ»), Россия, 350072, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, 2.

РЕЗЮМЕ. Цель. Рассмотрена модель задержки автотранспорта на регулируемом перекрёстке Ф.В. Вебстера, проанализирован физический смысл составляющих модели, определена значимость (вес, количественный вклад) параметров в величину задержки транспорта при запрещающем сигнале светофора. Проанализированы недостатки модели при её использовании для управления сигналами светофора.

Методы. Анализ проводился методом расчёта числовых значений параметров, определения физического смысла составляющих модели, использовался метод чувствительности функции к варьированию её параметров.

Результаты и их обсуждение. Случайная и корректирующая составляющие модели практически не влияют на длительность задержки автотранспорта перед перекрёстком. Варьирование интенсивности прибытия и плотности загрузки подъезда в пределах до уровня образования очереди не изменяет значение задержки транспорта. Модель не работает в условиях насыщенного потока транспорта с очередями. Наиболее значимым параметром функции задержки является уровень загрузки подъезда, его вклад в задержку в среднем составляет 43,64 %, на втором месте идёт длительность разрешающего сигнала светофора с вкладом 29,18%, третье место занимает время цикла – 20,98%, четвёртое – интенсивность прибытия – 6,19%.

Выводы. Модель Вебстера применима только в условиях ненасыщенного потока при отсутствии очереди**,** наиболее важным её параметром является уровень загрузки подъезда, а интенсивность прибытия транспорта, случайная и корректирующая составляющие модели практического значения не имеют.

Ключевые слова: модель задержки проезда, Вэбстер, светофор, очередь, значимость параметров, перекрёсток.

ANALYSIS OF THE WEBSTER DELAY MODEL

George D. Antoniadi, Vladimir A. Arkhipov, Alexander A. Tsouprikov

Federal state budgetary educational institution of higher education "Kuban state technological University" (FSBEI HE "KubSTU"), Russia, 350072, Krasnodar Krai, Krasnodar, Moskovskaya str., 2

SUMMARY. Purpose. We considered a model of delay of vehicles on a regulated intersection F. V. Webster, analyzed the physical meaning of the components of the model, the importance (weight, quantity contribution) parameters in magnitude in the absence of support for transport in prohibiting the traffic signal. Analyzed the shortcomings of the model when it is used to control traffic lights.

Methods. The analysis was carried out by calculating the numerical values of the parameters, determining the physical meaning of the components of the model, using the method of sensitivity of the function to the variation of its parameters.

Results and their discussion. Random and corrective components of the model do not affect the duration of the delay of vehicles before the intersection. Varying the intensity of arrival and load density of the entrance within the level of formation of the queue does not change the value of the delay of transport. The model does not work in a saturated traffic flow with queues. The most significant parameter of the delay function is the level of loading of the entrance, its contribution to the delay on average is 43.64 %, in second place is the duration of the resolving signal of the traffic light with a contribution of 29.18%, the third place is the cycle time – 20.98%, the fourth – the intensity of arrival – 6.19%.

Conclusions. The Webster model is applicable only in conditions of unsaturated flow in the absence of a queue, its most significant parameter is the level of loading of the entrance, and the intensity of the arrival of transport, random and correcting components of the model have no practical value.

Key words: model, delays of travel, Webster, lights, turn, the significance of the parameters, intersection.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросам задержки транспортных средств (ТС) перед стоп-линией перекрёстка посвящено множество учебной и научной литературы [1-4,7,11-14 и др.]. Распространённая приближённая модель задержки Ф.В. Вебстера принята в качестве нормативной [5,6], она основана на сочетании теоретического анализа и численного моделирования, однако на практике может давать не достоверные результаты. Поэтому представляет интерес рассмотрение физического смысла каждой составляющей модели, их влияние на задержку транспорта, связь с другими характеристиками перекрёстка, а также определение вклада каждого параметра модели в значение величины задержки.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При исследовании модели использовалось два метода:

1. Метод численного моделирования - произведены расчёты всех параметров и составляющих модели, а также самой задержки для реальных практических условий работы перекрёстка. Расчёты выполнены для определения численного значения каждой составляющей модели, их количественной величины в составе функции задержки.

2. Метод чувствительности относительных погрешностей [9,10] - позволяет находить значимость каждого параметра для функции задержки (их "веса", вклада в величину задержки).

Модель Ф.В. Вебстера имеет вид[14]:

$$d=\frac{c(1-g/c)^2}{2[1-(g/c)x]}+\frac{x^2}{2q(1-x)}-0{,}65\left(\frac{c}{q^2}\right)^{\frac{1}{3}}x^{2+5(\frac{g}{c})} \quad (1)$$

где:

d– средняя задержка одного ТС за цикл, с;

c - длина цикла регулирования, с;

g - эффективная длительность зеленого сигнала, с;

q – интенсивность прибытия ТС, авт./с;

x- степень насыщения направления движения (уровень загрузки подхода), авт.

Модель (1) содержит три составляющих. Первая определяет задержку при условии стационарности прибытия транспортного потока, вторая - так называемая «случайная задержка»- представляет случайную составляющую процесса. Она предполагает пуассоновский процесс прибытия ТС и постоянную интенсивность их разъезда, соответствующую пропускной способности перекрёстка. Третья составляющая корректирует величину времени задержки и составляет порядка 1 - 10% процентов от суммы первых двух.

Пропускную способность перекрёстка, которой должна соответствовать постоянная интенсивность разъезда ТС, можно определить следующим способом. Согласно [4,6,7] при оценке практической пропускной способности в конкретных дорожных условиях рекомендуется использовать уравнение:

$$P = \beta P_{max}$$

где

β - итоговый коэффициент снижения пропускной способности, равный произведению частных коэффициентов $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \ldots, \beta_{14}$, которые учитывают полосность дороги, наличие и ширину обочины, количество поворачивающих на перекрёстке ТС, наличие препятствий и др., изменяются в пределах от 0,7 до 1,0, их произведение в среднем составляет 0,85.

P_{max} = 2100 – 4000 авт/ч, - максимальная практическая пропускная способность легковых автомобилей, зависит от числа полос на полотне.

Для практических расчётов можно принять P_{max} = 2200 авт/ч, тогда $P = 0{,}85P_{max}$= 1850 авт/ч или 0,51 авт/с.

Первая составляющая. Отношение g/c показывает долю зелёного сигнала g в полном цикле c, $(1 - g/c)$ – это доля запрещающего сигнала в цикле, числитель $c(1 - g/c)^2$ соответствует времени квадрата доли запрещающего сигнала в цикле, с.

В знаменателе составляющая $(g/c)x$ показывает, на сколько изменяется загрузка подхода (подъезда ТС к перекрёстку) за долю зелёного сигнала в цикле, $[1- (g/c)x]$ – то же, но за долю запрещающего сигнала светофора.

В целом первая составляющая соответствует половине времени изменения загрузки полотна (очереди) за время запрещающего сигнала светофора.

Вторая составляющая показывает изменение квадрата относительной плотности подъехавших машин в очереди x по отношению к остаточной плотности $(1 – x)$ – не подъехавших, которая возникает при интенсивности прибытия q.

В целом вторая составляющая соответствует половине времени образования относительной плотности машин в очереди (в квадрате) по отношению к относительной плотности не подъехавших к перекрёстку машин при интенсивности q. В этом проявляется случайность задержки, т.к. она может сформироваться или не сформироваться при конкретных интенсивностях q и полосности дороги.

Третья составляющая уменьшает общее время задержки ТС для его корректировки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ МОДЕЛИ ВЕБСТЕРА ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕАЛЬНОГО ПЕРЕКРЁСТКА

Для получения численных значений длительность задержки по модели (1) была просчитана на реальных данных проезда перекрёстка при следующих параметрах: время цикла c = 240 с, интенсивность прибытия q = 2авт/с, относительная плотность машин при подходе x = 0,8.

В таблице 1 рассчитано время задержки в очереди ТС в функции времени запрещающего сигнала светофора *c* - *g*, с.

В правой части таблицы 1 приведены количественные значения всех трёх слагаемых модели (1).

Таблица 1 Время задержки di значения составляющих модели
Table 1 The delay time d and the values of the components of the model

d, с	*c*, с	*g*, с	*c* - *g*, с	*q*, авт/с	*x*, авт	1-е	2-е	3-е
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,27	240	240	0	2	0,8	0,000	0,8000	0,5337
1,49	240	228	12	2	0,8	1,250	0,8000	0,5643
4,49	240	216	24	2	0,8	4,286	0,8000	0,5966
8,61	240	204	36	2	0,8	8,438	0,8000	0,6309
13,47	240	192	48	2	0,8	13,333	0,8000	0,6671
18,84	240	180	60	2	0,8	18,750	0,8000	0,7053
24,60	240	168	72	2	0,8	24,545	0,8000	0,7458
30,64	240	156	84	2	0,8	30,625	0,8000	0,7886
36,89	240	144	96	2	0,8	36,923	0,8000	0,8338
43,31	240	132	108	2	0,8	43,393	0,8000	0,8817
49,87	240	120	120	2	0,8	50,000	0,8000	0,9323
56,53	240	108	132	2	0,8	56,719	0,8000	0,9857
63,29	240	96	144	2	0,8	63,529	0,8000	1,0423
70,11	240	84	156	2	0,8	70,417	0,8000	1,1021
77,00	240	72	168	2	0,8	77,368	0,8000	1,1653
83,94	240	60	180	2	0,8	84,375	0,8000	1,2322
1	2	3	4	5	6	7	8	9
90,93	240	48	192	2	0,8	91,429	0,8000	1,3029
97,95	240	36	204	2	0,8	98,523	0,8000	1,3776
105,00	240	24	216	2	0,8	105,652	0,8000	1,4567
112,07	240	12	228	2	0,8	112,813	0,8000	1,5402
118,58	240	1	239	2	0,8	119,400	0,8000	1,6210

График функции задержки ТС от времени запрещающего сигнала светофора, построенный по данным таблицы 1, приведён на рисунке 1.

Рис. 1. Зависимость времени задержки ТС от сигналов светофора
Fig. 1.thedependenceofthetimedelayTCfromthetrafficsignals

График показывает, что при увеличении длительности запрещающего сигнала светофора время задержки транспорта растёт по слабо выраженному экспоненциальному закону.

Для определения количественного влияния на d интенсивности q и степени загрузки подхода x таблица 1 пересчитывалась при различных значениях q и x. При увеличении интенсивности с величины q =2 авт/с до q = 100 авт/с, (т.е. в 50 раз) время задержки увеличилось на 0,7 сек (с 118,58 до 119,30 сек), второе слагаемое модели уменьшилась с 0,8 до 0,016, а третье – с 1,62 до 0,119 (таблица 2).

Таблица 2 Время задержки d при больших q и значения составляющих модели
Table 2 Delay time d at high q and values of the model components

d, с	*c*, с	*g*, с	*c* - *g*, с	*q*, авт/с	*x*, авт	1-е	2-е	3-е
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,02	240	240	0	100	0,8	0,000	0,0160	0,0393
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,22	240	228	12	100	0,8	1,250	0,0160	0,0416
4,26	240	216	24	100	0,8	4,286	0,0160	0,0440
8,41	240	204	36	100	0,8	8,438	0,0160	0,0465
13,30	240	192	48	100	0,8	13,333	0,0160	0,0492
18,71	240	180	60	100	0,8	18,750	0,0160	0,0520
24,51	240	168	72	100	0,8	24,545	0,0160	0,0550
30,58	240	156	84	100	0,8	30,625	0,0160	0,0581
36,88	240	144	96	100	0,8	36,923	0,0160	0,0614
43,34	240	132	108	100	0,8	43,393	0,0160	0,0650
49,95	240	120	120	100	0,8	50,000	0,0160	0,0687
56,66	240	108	132	100	0,8	56,719	0,0160	0,0726
63,47	240	96	144	100	0,8	63,529	0,0160	0,0768
70,35	240	84	156	100	0,8	70,417	0,0160	0,0812
77,30	240	72	168	100	0,8	77,368	0,0160	0,0859
84,30	240	60	180	100	0,8	84,375	0,0160	0,0908
91,35	240	48	192	100	0,8	91,429	0,0160	0,0960
98,44	240	36	204	100	0,8	98,523	0,0160	0,1015
105,56	240	24	216	100	0,8	105,652	0,0160	0,1073
112,72	240	12	228	100	0,8	112,813	0,0160	0,1135
119,30	240	1	239	100	0,8	119,400	0,0160	0,1194

Изменение уровня загрузки x с 0,8 до 0,1 практически не отражается на величине задержки (d = 119,03), но уменьшает значения второй и третьей составляющих модели (1) до второго - третьего знака после запятой – см. таблицу 3.

При $x \geq 1$ величина задержки d стремится к бесконечности, т.е. модель не работает при перенасыщенных потоках автотранспорта с образованием очередей.

Таблица 3 Время задержки d при малых x и значения составляющих модели
Table 3 Delay time d at small x and values of the model components

d, с	*c*, с	*g*, с	*c* - *g*, с	*q*, авт/с	*x*, авт	1-е	2-е	3-е
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00	240	240	0	2	0,1	0,000	0,0028	0,0000
0,33	240	228	12	2	0,1	0,331	0,0028	0,0000
1,32	240	216	24	2	0,1	1,319	0,0028	0,0000
2,95	240	204	36	2	0,1	2,951	0,0028	0,0000
5,22	240	192	48	2	0,1	5,217	0,0028	0,0000
8,11	240	180	60	2	0,1	8,108	0,0028	0,0000
11,62	240	168	72	2	0,1	11,613	0,0028	0,0000

15,72	240	156	84	2	0,1	15,722	0,0028	0,0000
20,43	240	144	96	2	0,1	20,426	0,0028	0,0000
25,72	240	132	108	2	0,1	25,714	0,0028	0,0000
31,58	240	120	120	2	0,1	31,579	0,0028	0,0001
38,01	240	108	132	2	0,1	38,010	0,0028	0,0001
1	2	3	4	5	6	7	8	9
45,00	240	96	144	2	0,1	45,000	0,0028	0,0003
52,54	240	84	156	2	0,1	52,539	0,0028	0,0005
60,62	240	72	168	2	0,1	60,619	0,0028	0,0008
69,23	240	60	180	2	0,1	69,231	0,0028	0,0014
78,37	240	48	192	2	0,1	78,367	0,0028	0,0025
88,02	240	36	204	2	0,1	88,020	0,0028	0,0045
98,18	240	24	216	2	0,1	98,182	0,0028	0,0080
108,83	240	12	228	2	0,1	108,844	0,0028	0,0143
119,03	240	1	239	2	0,1	119,052	0,0028	0,0243

Таким образом:

- вторая и третья составляющие модели Вебстера практически не влияют на длительность задержки автотранспорта перед перекрёстком;
- варьирование q и x в широких пределах не изменяет значение d, графики рисунка 1 практически не изменяются;
- при насыщенном потоке транспорта ($x \geq 1$) модель становится не работоспособной.

Для более полного определения влияния аргументов функции $d= f(c, g, q, x)$ на её величину проведём анализ чувствительности функции (1) к изменению аргументов - параметров c, g, q, x.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧ ЁТА ЗНАЧИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАДЕРЖКИ

В [9,10] приводится метод определения количественного вклада (значимости, ценности, веса) каждого параметра дифференциируемой функции $u = f(x,y,z,...)$ в величину функции u, разработанный на основе теорий чувствительности и погрешностей [8]. Метод основан на связи относительных погрешностей функции δu и её параметров $\delta x, \delta y, \delta z$, …, которая имеет вид:

$$\delta u = \frac{1}{u}\left(x\left|\frac{\partial u}{\partial x}\right|\delta x + y\left|\frac{\partial u}{\partial y}\right|\delta y + z\left|\frac{\partial u}{\partial z}\right|\delta z + \ldots\right)$$

или

$$\delta u = K_x \cdot \delta x + K_y \cdot \delta y + K_z \cdot \delta z + \ldots, \quad (2)$$

где:

$$K_x = \frac{x}{u}\left|\frac{\partial u}{\partial x}\right|;\ K_y = \frac{y}{u}\left|\frac{\partial u}{\partial y}\right|;\ K_z = \frac{z}{u}\left|\frac{\partial u}{\partial z}\right|;\ \ldots$$

- коэффициенты влияния (значимости) соответствующих аргументов x, y, z, … на функцию u.

При задании всем аргументам x, y, z, … одинаковой единичной погрешности (δi= 1%) можно определить, на сколько процентов изменится величина δu при однопроцентном изменении каждого из параметров.

Для упрощения расчётов третьей составляющей модели (1) можно пренебречь, поскольку численное моделирование показало несущественность её вклада в общую величину задержки.

Для определения частных производных функции d по параметрам c, g, qи xнужно преобразовать функцию (1)в более однородную структуру, т.е. раскрыть скобки:

$$d=\frac{2c^2q - 2c^2qx - 4cqg + 4gcqx + 2g^2q - 2qg^2x + 2x^2 - 2gx^3}{4cq - 4cqx - 4gqx + 4gx^2q}$$

и взять от неё частные производные по каждому из параметров c, g, q и x. Затем определяются коэффициенты значимости K_i, по каждому параметру в различные моменты времени сигнала све-

тофора и находится процентный вклад каждого параметра в величину задержки *d*.

Результаты расчётов слагаемых $K_i \cdot \delta i$ уравнения чувствительности (2) для каждого параметра приведены в таблице 4 (средние данные в последней строке), по которой построены графики изменения влияния аргументов модели (1) на задержку *d* в функции времени - рисунок 2.

Таблица 4 Вклад аргументов c, g, q и хв величину функции d
Table 4 Contribution of arguments c, g, q and x to the value of function d

t, с	*c*, %	*g*, %	*x*, %	*q*,%
1	2	3	4	5
1	29,51	0,39	61,38	8,71
12	28,30	4,47	58,87	8,36
24	27,09	8,56	56,35	8,00
36	25,98	12,31	54,04	7,67
48	24,96	15,77	51,90	7,37
60	24,01	18,97	49,94	7,09
72	23,13	21,93	48,11	6,83
84	22,32	24,68	46,41	6,59
96	21,56	27,25	44,83	6,36
108	20,85	29,64	43,36	6,15
120	20,18	31,89	41,97	5,96
132	19,56	33,99	40,68	5,77
144	18,97	35,97	39,46	5,60
156	18,42	37,83	38,31	5,44
168	17,90	39,59	37,23	5,28
180	17,41	41,25	36,20	5,14
192	16,94	42,82	35,23	5,00
204	16,50	44,32	34,32	4,87
216	16,08	45,73	33,44	4,75
228	15,68	47,07	32,61	4,63
240	15,30	48,35	31,83	4,52
Среднее	20,98	29,18	43,64	6,19

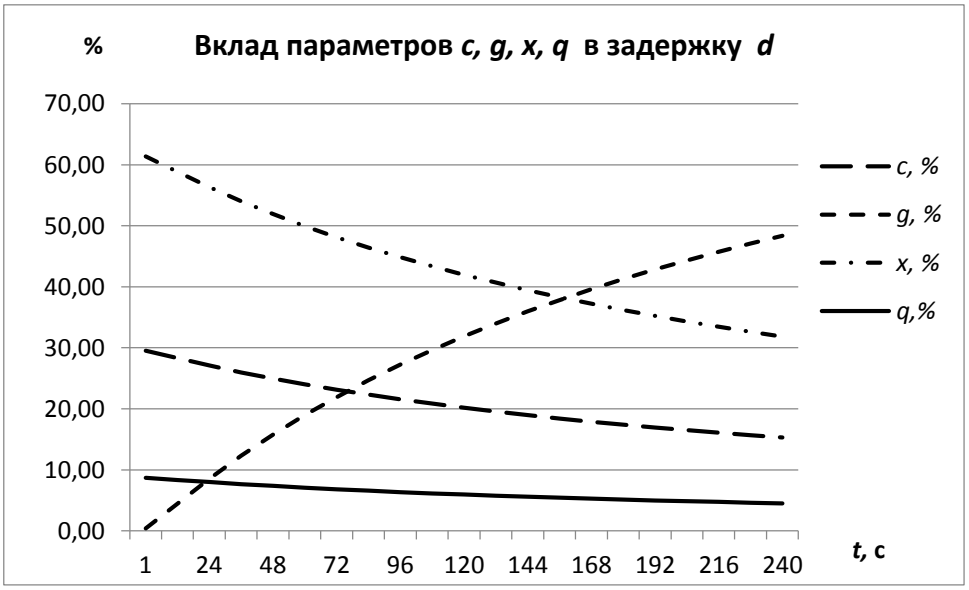

Рис. 2. Влияние параметров модели на величину задержки
Fig. 2. Influence of model parameters on the delay value

Таким образом, наиболее значимым параметром для функции задержки является x - уровень загрузки подъёзда ТС к перекрёстку, его вклад в значение d в среднем составляет 43,64 %, на втором месте идёт g - длительность разрешающего сигнала светофора, его вес для функции d равен 29,18%, третье место занимает время цикла c – 20,98%, четвёртое – интенсивность прибытия q – 6,19%.

ВЫВОДЫ

1. При увеличении длительности запрещающего сигнала светофора время задержки транспорта растёт по экспоненциальному закону. Это справедливо и для других моделей задержки.

2. Основную роль в модели Вебстера играет первая составляющая, её доля доходит до 99%, т.е. второй и третьей составляющими на практике можно пренебречь без потери достоверности модели.

3. Недостатками модели является её практическая нечувствительность к изменению интенсивности прибытия транспорта и плотности загрузки подъезда ТС перед перекрёстком, а также неработоспособность в условиях насыщенного транспортного потока с образованием очереди.

4. Наибольшее влияние на величину задержки оказывает уровень загрузки подъезда (44%), далее идут время зелёного сигнала (29%), время цикла (21%) и интенсивность прибытия транспорта к перекрёстку (6%)

Основной вывод: модель Ф.В. Вебстера не пригодна для управления дорожным движением при перегрузках транспортной сети в виде очередей и заторов, что является актуальным, особенно в часы пик.

Список литературы

1. Андронов, Р.В. Леверенц Е.А. Расчёт 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.

2. Буре, В. М., Елфимов А. Н., Карелин В. В. Стационарные циклы в детерминированной системе обслуживания // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2018. Т. 14. Вып. 1. С. 40–50. https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2018.105

3. Горев, А.Э. Транспортное моделирование : учеб. Пособие для студ. направления подготовки 190700: Технология транспортных процессов / А.Е. Горев, К. Бёттгер, А.В. Прохоров, Р.Р. Гизатуллин – СПб.: СПб. Гос. архит.-строит. Ун-т, 2014, - 182 с.

4. Крылатов, А. Ю. Оптимальные стратегии управления пропускной способностью маршрутов транспортной сети // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2017. Т. 13. Вып. 2. С. 182–192. DOI: 10.21638/11701/spbu10.2017.205

5. ОДМ 218.6.003-2011 Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. –М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. -69 с.

6. ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных доporhttp://docs.cntd.ru/document/1200092512

7. Пропускная способность перекрёстка. [Электронный ресурс]. URL: http://waksman.ru/Russian/Vehi/shel/39.htm, (дата обращения: 2013-04-17).

8. Румшиский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента : справочное руководство / Л.З. Румшиский. –М.: Наука, 1971. – 192 с.

9. Цуприков, А.А. Чувствительность показателей механического бурения к изменению параметров управления / А.А. Цуприков // Сборник материалов НТВ СПбГПУ. –СПб. : Изд – во Политехн. ун-та, 2009. – №3 (80). – С. 4-8.

10. Цуприков, А.А. Определение влияния точности измерения параметров бурения на чувствительность показателей процесса / А.А. Цуприков // Сборник материалов НТВ СПбГПУ. –СПб. : Изд – во Политехн. ун-та, 2009. – №3 (80). – С. 14 - 18.

11. Фаттахова, А.В. Теориятранспортныхпроцессовисистем: методическиеуказания / А.В. Фаттахова, Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 71 с.

12. Beckmann, M. J., McGuire C. B. and Winsten C. B., Studies in the Economics of Transportation, Yale University Press, 1956.

13. Khamitova, A. D. Characteristic polynomials for a cycle of non-linear discrete systems with time delays. Vestnik of Saint Petersburg University. Series 10. Applied mathematics. Computer science. Control processes, 2016, issue 4, pp. 104–115. DOI: 10.21638/11701/spbu10.2016.410

14. Webster, F. V. Traffic Signal Settings. Road Research Laboratory Technical Paper No. 39, HMSO, London, 1958.