

# Анализ параметров регулирования транспортных потоков на изолированном перекрестке

**МУХТАРОВ Талгат Мадиевич**, старший преподаватель, [muhtarov@inbox.ru](mailto:muhtarov@inbox.ru),  
 Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56.

**Аннотация.** Рассматривается анализ параметров регулирования транспортных потоков на светофорном объекте и предлагается альтернативный вариант. Решение задач организации оптимального управления транспортными потоками в условиях интенсивного движения по улицам большого города заключается в нахождении наилучшего режима регулирования на изолированном перекрестке. Поскольку от решения задач по оптимальному управлению на одном пересечении во многом зависит надежность функционирования транспортной системы в целом и эффективность реализации в ней отдельных транспортных процессов. На сегодняшний день в отечественной практике практически отсутствуют эффективные рекомендации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, посвященных путям повышения безопасности дорожного движения (БДД) на этапе проектирования схем организации дорожного движения. Все это создает основания в необходимости исследования параметров регулирования транспортных потоков, с целью выявления резервов повышения организации и БДД. На величину длительности горения зеленого сигнала светофора влияют различные факторы и верно рассчитанные параметры: интенсивность движения, значения потока насыщения, и, как следствие, величина фазовых коэффициентов. Основным параметром, на который необходимо опираться при расчете длительности цикла, а значит – пропускной способности, задержек и длины очереди, являются коэффициенты, не отраженные в нормативных документах.

**Ключевые слова:** цикл регулирования, длительность цикла, основной такт, пропускная способность, транспортный поток, поток насыщения, задержки транспорта, регулируемый перекресток.

## Введение

Дорожное движение является сложной динамической системой, представляющей собой совокупность движущихся и неподвижных пешеходов и различных типов механических транспортных средств, управляемых людьми [1].

Основными показателями эффективности дорожного движения являются скорость и безопасность. При этом статистика дорожно-транспортных происшествий по Республике Казахстан свидетельствует о том, что 30-35% происшествий ежегодно концентрируется на пересечениях автомобильных дорог в одном уровне [2]. В основной массе, это пересечения с высокой интенсивностью движения, а также нерегулируемые либо требующие коррекции длительности цикла регулирования светофорные объекты.

В этой связи при увеличении автомобилизации и количества технических средств возникает необходимость усиления требований к качеству проектирования режимов регулирования и характеристик самих объектов.

Одним из методов решения задач организации оптимального управления транспортными потоками в условиях интенсивного движения по улицам большого города является нахождение наилучшего режима регулирования на изолиро-

ванном перекрестке, поскольку от решения задач по оптимального управления на изолированном перекрестке во многом зависит надежность функционирования транспортной системы в целом и эффективность реализации в ней отдельных транспортных процессов [3].

## Методы исследования

На сегодняшний день существуют различные методики расчета программ светофорного регулирования. Наиболее распространенными в отечественной практике являются методы: Владимирова, Полукарова (Россия) и Вебстера (Англия) [4, 5]. Следует отметить, что последний является наиболее простым и распространенным.

Предложенная английским исследователем В.Ф. Вебстером формула для расчета длительности цикла светофорного регулирования [3, 4, 6] получила практическое применение в реальных условиях движения многих стран мира, в том числе и в РК. Данная формула имеет вид:

$$T = \frac{1,5L + 5}{1 - y_1 - y_2 - y_3 \dots - y_n}, \quad (1)$$

где  $T$  – время цикла;

$L$  – сумма промежуточных тактов;

$y_i$  – фазовые коэффициенты.

Расчет длительности основных тактов определяется по формуле:

$$t_{oi} = \frac{(T-L)y_i}{y_1 - y_2 - y_3 \dots - y}, \quad (2)$$

где  $y_1 - y_2 - y_3 \dots - y$  – сумма фазовых коэффициентов, которые можно заменить выражением  $Y$ .

При этом расчет фазовых коэффициентов сводится к выражению:

$$y_i = \frac{N_i}{M_H}, \quad (3)$$

где  $N_i$  – приведенная интенсивность движения в  $i$ -м направлении, авт/ч;

$M_H$  – поток насыщения, авт/ч.

Поток насыщения, выведенный эмпирическим путем [3, 4], определяется выражением:

$$M_H = 525B_{пч}, \quad (4)$$

где  $B_{пч}$  – ширина проезжей части, м.

Согласно предложенной В.Ф. Вебстером методике, при помощи формул (1)-(4), приведенных в работе [4, стр. 33], попытаемся более подробно рассмотреть сочетания критических интенсивностей на главной и второстепенной дороге, предложенные при усредненном значении потока насыщения, принятого  $M=1418$  авт/ч и  $M=1575$  авт/ч на полосу движения.

В результате расчетов, полученных опытным путем, определены значения, приведенные в таблице 1.

Как показывает анализ условий корректности формулы (1), коэффициенты, входящие в её числитель, зависят от интенсивности входящих потоков и суммы промежуточных тактов.

При сочетании критических интенсивностей и длительности промежуточного такта, равного 3 секундам и в ряде случаев 4 секундам, длительность цикла не соответствует минимальному пороговому значению, равному 25 секундам, когда должно выполняться условие формулы:

$$25 \leq T_{ц} = 120. \quad (5)$$

При расчете длительности цикла светофорного регулирования выход на численные значения, удовлетворяющие условиям формулы (5), возможен при правильном назначении потоков насыщения, приходящихся на каждую полосу движения, и варьированием поправочных коэффициентов [3, 4, 6], при условии соответствия коэффициентов приведения реальному составу транспортного потока [7, 8].

### Научные результаты

Таким образом, можно предположить что формула (1), нашедшая широкое распространение в практике [3, 4, 6], является относительно точной при больших значениях интенсивностей транспортных потоков и дает ошибку в области малых и средних значений.

В работах [8, 9] поясняется природа возник-

новения данной формулы, однако аналитический метод ее описания при решении задач по определению стационарных режимов перекрестка сводится к нахождению дополнительных корректирующих коэффициентов, что затрудняет расчет цикла светофорного регулирования и делает его очень емким.

Рассмотрим пример. На регулируемом перекрестке с интенсивностью движения  $N_1=1400$  авт/ч,  $N_2=150$  авт/ч, при  $M=1417$  авт/ч и  $T_{ц}=8$  сек, согласно формуле (5), длительность цикла составит 42 сек, при этом длительность основного такта  $t_{o2}$  во второй фазе составит 6 сек, что не удовлетворяет условиям методики работы [4, стр 33], так как не соответствует практическому применению результатов расчета, когда не выполняется выражение условия:

$$t_{oi} \geq 7 \text{ сек.} \quad (6)$$

Зачастую прибегая к руководствам методики, предложенной в работе [4], длительность  $i$ -го основного такта в  $i$ -й фазе светофорного регулирования приравнивают к условию (6). С одной стороны, использование формулы (6) на практике, при выборе длительности  $i$ -го основного такта для  $i$ -й интенсивности движения, маловероятно, поскольку транспортным средствам, стоящим у подходов перекрестка после включения зеленого сигнала, потребуется определенное время для того, чтобы отреагировать на включение сигнала светофора, тронуться с места и развить определенную скорость движения [8]. Поэтому данные значения, как правило, составляют не менее 10 сек, т.е. в составляющей основного такта появился мигающий зеленый сигнал продолжительностью 3 сек, предупреждающий об истечении времени основного сигнала.

Таким образом, примем, что для формулы (6) должно выполняться условие:

$$t_{oi} \geq 10 \text{ сек.} \quad (7)$$

С другой стороны, даже при отсутствии пешеходного движения или необходимости такта или фазы на пересечении, на практике также нашел широкое применение такой метод выбора основных тактов, когда его значение выставляют по необходимому времени для пешеходного такта:

$$t_{o2} \geq t_{пеш} = \frac{B_{пч}}{V_{пеш}} + 5, \quad (8)$$

где  $B_{пч}$  – ширина проезжей части, м;

$V_{пеш}$  – скорость движения пешехода, ~1,3 м/с.

С позиции целесообразности мероприятий, такой подбор оптимального такта для каждого конфликтующего направления при условии отсутствия пешеходного движения, особенно по мере нарастания интенсивности, данные действия, возможно, вызовут диспропорцию во временных интервалах, необходимых для рассредоточения скопления транспортных средств у подходов на перекрестке, что вызовет их простой

Таблица 1 – Анализ сочетания критических интенсивностей на главном и второстепенном направлениях при проектировании режимов светофорного регулирования

	Поток насыщения $M_{H, авт/ч}$	Фазовый коэффициент $\gamma_{01}$	Фазовый коэффициент $\gamma_{02}$	Длительность цикла $T_{ц}, сек$	Длительность $t_{01}, сек$	Длительность $t_{02}, сек$		Поток насыщения $M_{H, авт/ч}$	Фазовый коэффициент $\gamma_{01}$	Фазовый коэффициент $\gamma_{02}$	Длительность цикла $T_{ц}, сек$	Длительность $t_{01}, сек$	Длительность $t_{02}, сек$
при $T_n = 6$ сек	1418	0,529	0,053	41	30	3	При $T_n = 8$ сек	1418	0,529	0,053	33	25	2
		0,473	0,071	37	25	4			0,473	0,071	31	21	3
		0,409	0,088	34	21	5			0,409	0,088	28	18	4
		0,353	0,106	31	18	5			0,353	0,106	26	15	5
		0,289	0,123	29	15	6			0,289	0,123	24	13	5
		0,268	0,134	28	14	7			0,268	0,134	23	12	6
		0,317	0,053	27	16	3			0,317	0,053	22	14	2
		0,282	0,071	26	15	4			0,282	0,071	22	13	3
		0,247	0,088	26	13	5			0,247	0,088	21	11	4
		0,212	0,106	25	11	6			0,212	0,106	21	10	5
		0,176	0,123	24	10	7			0,176	0,123	20	8	6
		0,141	0,141	24	8	8			0,141	0,141	20	7	7
		0,317	0,035	26	16	2			0,317	0,035	22	14	2
		0,291	0,044	26	15	2			0,291	0,044	21	13	2
		0,265	0,053	25	14	3			0,265	0,053	21	12	2
		0,238	0,062	24	13	3			0,238	0,062	20	11	3
		0,212	0,071	24	12	4			0,212	0,071	20	10	3
		0,185	0,079	23	11	5			0,185	0,079	19	9	4
	0,169	0,085	23	10	5	0,169	0,085	19	9	4			
	1575	0,476	0,048	36	25	3	1575	0,476	0,048	29	19	2	
		0,425	0,063	33	22	3		0,425	0,063	27	17	3	
		0,368	0,079	31	19	4		0,368	0,079	25	14	3	
		0,317	0,095	29	16	5		0,317	0,095	24	12	4	
		0,260	0,111	27	13	6		0,260	0,111	22	10	4	
		0,241	0,121	27	12	6		0,241	0,121	22	9	5	
		0,286	0,053	26	15	3		0,286	0,053	21	11	2	
		0,254	0,071	25	13	4		0,254	0,071	21	10	3	
		0,222	0,088	25	12	5		0,222	0,088	20	9	3	
		0,190	0,106	24	10	6		0,190	0,106	20	8	4	
		0,159	0,123	24	9	7		0,159	0,123	20	6	5	
		0,127	0,141	23	7	8		0,127	0,141	19	5	6	
		0,286	0,032	25	15	2		0,286	0,032	21	11	1	
		0,262	0,040	24	14	2		0,262	0,040	20	10	2	
		0,238	0,048	24	13	3		0,238	0,048	20	10	2	
0,214		0,056	23	12	3	0,214		0,056	19	9	2		
0,190	0,063	23	11	4	0,190	0,063	19	8	3				
0,167	0,071	22	10	4	0,167	0,071	18	7	3				
0,152	0,076	22	9	5	0,152	0,076	18	7	3				

или задержку. Тем не менее, такие решения реализуются в расчетных примерах, а затем на практике длительность цикла корректируются путем натуральных исследований.

Однако следует отметить, что допустимые погрешности в выборе времени цикла и тактов светофорного регулирования могут привести к потерям до 1000 авто-часов в год, только из-за несоответствия числовых коэффициентов в формуле (1) реальным условиям движения.

В этой связи при расчетах по нахождению оптимального цикла и основных тактов светофорного регулирования на нерегулируемых и вновь возводимых пересечениях с относительно малыми значениями интенсивности движения на одном из конфликтующих направлений либо при недостатке эффективного времени основного такта в цикле светофорного регулирования, в формуле (1), придерживаясь условий формул (5) и (7), следовало бы пользоваться корректирующим кратным коэффициентом, например, «*k*», который с позиции рационального распределения зеленого сигнала светофора, при недостатке времени продолжительности  $T_{ц}$  или  $t_{осн}$  в пропорциональном  $k'$ -кратном соотношении, увеличил бы длительность основного такта для каждой фазы светофорного регулирования:

$$T = \frac{1,5L + 5}{1 - y_1 - y_2 - y_3 \dots - y_n} \cdot k', \quad (9)$$

Рассмотрим пример. На регулируемом перекрестке  $N_1 = 1400$  авт/ч,  $N_2 = 150$  авт/ч, при  $M = 1417$  авт/ч,  $T_{ц} = 8$  с и  $k = 1,5$  (1,5-кратное увеличение  $T_{ц}$ ) согласно формуле (9) длительность цикла составит 64 с, при этом длительность основного такта  $t_{02}$  во второй фазе на примыкающем направлении составит не менее 10 с, что удовлетворяет условиям методики работы [4] и формулы (7).

Для отражения методики предлагаемых мероприятий показаны график-схема ожидания смены сигнала светофорного объекта у подходов на перекрестке (рисунок) и сравнительная таблица 2.

Анализ строк 1 и 2 таблицы 2 показывает, что при традиционном методе работы [4] время, необходимое для рассредоточения очереди транспортного потока при интенсивности движения на главном направлении ( $N = 1400$  авт/ч), длительность основного такта необходимо принять равной не менее 28 сек. При этом корректировка длительности цикла на второстепенном направлении на +1 секунду за 1 час работы светофорного объекта снижает общую продолжительность горения зеленого сигнала на главном (более интенсивном направлении) на 28 секунд, что сопоставимо с потерей эффективного такта разрешающего сигнала светофора.

Следует отметить, что область применения поправочного коэффициента наиболее объективна и хорошо согласуется при небольших разностях значений интенсивностей конфликтных направлений, поскольку применение поправочного коэффициента будет увеличивать длительность цикла кратно коэффициенту, что позволит рассчитывать светофорный цикл и фазы как для направлений с низкой интенсивностью движения так и при недостатке эффективного времени зеленого сигнала.

С учетом изложенного, следует отметить, что мероприятия по использованию корректирующего коэффициента актуальны для вновь возводимых пересечений, особенно при выполнении Условия 4 работы [4].

На рисунке (вариант Г) представлена схема ожидания смены сигнала светофора на подходе к перекрестку. Данный рисунок наглядно показывает представление о протекании процесса разъезда транспортных средств в одной из фаз регулируемого пересечения: во второй фазе за время длительности  $t_{кр}$  происходит накопление очереди транспортного потока  $t_{02}$ , с включением разрешающего сигнала до окончания длительности основного такта  $t_0$  происходит рассредоточение (время рассредоточения) накопившегося количества транспортных средств  $N_0$ .

Таблица 2 – Способы определения длительности цикла светофорного регулирования

Способ нахождения	Длительность цикла $T_{ц}$ , сек	Длительность основного такта $t_{01}$ в фазе 1, сек	Длительность основного такта $t_{02}$ в фазе 2, сек	Сумма пром. тактов $T_{п}$ , сек	Количество циклов за 1 час работы светофора	Время, приходящееся на основной такт $t_{01}$ за 1 час по главному направлению, сек
1. По Вебстеру (1)	42	28	6	8	86	2380
2) По Вебстеру, с поправкой на формулу (6)	43	28	7	8	84	2352
3) По Вебстеру, с поправкой на формулу (7)	46	28	10	8	78	2184
4) По формуле (9)	64	46	10	8	56	2576



нальной длительности зеленого сигнала, в пропорциональном соотношении увеличили бы длительность основного такта в каждой фазе светофорного регулирования без потерь эффективного времени на более загруженном направлении.

Следует отметить, область применения кратных коэффициентов в формуле (9) при недостатке эффективного времени разрешающего сигнала светофора позволит на практике реализовать дополнительные возможности поиска рациональ-

ного режима регулирования, в том числе:

- при инженерном расчете нахождения длительности цикла ( $T_{ц}$ ) для реализации сдвига фаз по типу «смещенный» или «опережающий такт» в одной из фаз;

- расчете программ гибкого режима регулирования на объектах улично-дорожной сети магистральных улиц без учета организации пешеходного движения в одном уровне.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила дорожного движения РК от 1 января 1998 г. Утвержденные Постановлением Правительства РК № 1650 (Закон Республики Казахстан от 15.07.1996 № 29-І «О безопасности дорожного движения»).
2. Мухтаров Т.М., Анбиев Е.Ж. Анализ безопасности дорожного движения в Республике Казахстан // Материалы 9 международной научно-практической конференции. «Ключевые аспекты научной деятельности – 2013». Том 16. Пшемисла, 2013. С. 31-36.
3. Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б. Управление транспортными потоками в городах. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.
4. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
5. Капитанов В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В.Т. Капитанов, Е.Б. Хилажев. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.
6. Кременец Ю.А., Печерский М.П., Щелков Ю.Д. Применение технических средств для управления дорожным движением. М.: Высшая школа, 1974. 188 с.
7. Врубель Ю.А. О потоке насыщения / Белорус. политех. ин-т. Минск, 1988. – 7 с. Рук. деп. в ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, № 663. – ат. 89.
8. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Головных И.М. Проектирование регулируемых пересечений: Учеб. пособие – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2007. – 208 с.
9. Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения. – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.

### Оқшауланған қиылыстағы көлік ағындарын реттеу параметрлерін талдау

**МУХТАРОВ Талғат Мадиевич**, аға оқытушы, [muhtarov@inbox.ru](mailto:muhtarov@inbox.ru),

Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56.

**Аңдатпа.** Бағдаршам объектісіндегі көлік ағындарын реттеу параметрлерін талдау қарастырылады және балама нұсқа ұсынылады. Үлкен қала көшелеріндегі қарқынды қозғалыс жағдайында көлік ағындарын оңтайлы басқаруды ұйымдастыру мәселелерін шешу оқшауланған қиылыста ең жақсы реттеу режимін табу болып табылады. Көлік жүйесінің сенімділігі және ондағы жеке көлік процестерінің тиімділігі көбінесе бір қиылыста оңтайлы басқару мәселелерін шешуге байланысты болады. Бүгінгі таңда отандық практикада жол қозғалысын ұйымдастыру схемаларын жобалау кезеңінде жол қозғалысы қауіпсіздігін арттыру жолдарына арналған ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстардың тиімді ұсынымдары іс жүзінде жоқ. Мұның бәрі жол қозғалысын ұйымдастыру мен қауіпсіздікті арттыру резервтерін анықтау мақсатында көлік ағындарын реттеу параметрлерін зерттеу қажеттілігіне негіз жасайды. Бағдаршамның жасыл сигналының жану ұзақтығына әртүрлі факторлар мен дұрыс есептелген параметрлер әсер етеді: қозғалыс қарқындылығы, қанықтыру ағынының мәні және нәтижесінде фазалық коэффициенттердің мәні. Циклдің ұзақтығын, яғни өткізу қабілеттілігін, кідірістер мен кезек ұзындығын есептеу кезінде негізгі параметрлерге сүйену керек – бұл нормативтік құжаттарда көрсетілмеген коэффициенттер.

**Кілт сөздер:** реттеу циклі, цикл ұзақтығы, негізгі такт, өткізу қабілеті, көлік ағыны, қанықтыру ағыны, көлік кідірістері, реттелетін қиылыс.

### Analysis of Traffic Flow Control Parameters at an Isolated Intersection

**MUKHTAROV Talgat**, Senior Lecturer, [muhtarov@inbox.ru](mailto:muhtarov@inbox.ru),

Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56.

**Abstract.** The analyzes the parameters of traffic flow regulation at a traffic light object and suggests an alternative option. The solution to the problems of organizing optimal traffic flow management in conditions of heavy traffic on the streets of a large city is to find the best control mode at an isolated intersection. Since the reliability of the functioning of the transport system as a whole and the efficiency of the implementation of individual transport processes in it largely depend on the solution of optimal control problems at one intersection. To date, in domestic practice, there are

*practically no effective recommendations for research and development work on ways to improve road safety at the stage of designing traffic management schemes. All this creates grounds for the need to study the parameters of traffic flow regulation, in order to identify reserves for improving the organization and safety of road traffic. The value of the duration of the glow of the green signal of the traffic light is influenced by various factors and correctly calculated parameters: the intensity of traffic, the values of the saturation flow and, as a result, the value of the phase coefficients. The main parameter to rely on when calculating the cycle duration, which means throughput, delays, and queue length, is the coefficients not reflected in the regulatory documents.*

**Keywords:** control cycle, cycle duration, main clock cycle, throughput, traffic flow, saturation flow, transport delays, regulated intersection.

## REFERENCES

1. Pravila dorozhnogo dvizheniya RK ot 1 yanvarya 1998 g. Utverzhennyye Postanovleniem Pravitel'stva RK no. 1650 (Zakon Respubliki Kazahstan ot 15.07.1996 no. 29-I «O bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya»).
2. Muhtarov T.M., Anbiev E.Zh. Analiz bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Respublike Kazahstan // Materialy 9 mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. «Klyuchevyye aspekty nauchnoj deyatel'nosti – 2013». Tom 16. Pshemisla, 2013. pp. 31-36.
3. Kapitanov V.T., Hilazhev E.B. Upravlenie transportnymi potokami v gorodah. – Moscow: Transport, 1985. – 94 p.
4. Kremenec Yu.A. Tekhnicheskie sredstva organizacii dorozhnogo dvizheniya: uchebnyk dlya vuzov / Yu.A. Kremenec, M.P. Pecherskij, M.B. Afanas'ev. – Moscow: IKC «Akademkniga», 2005. – 279 p.
5. Kapitanov V.T. Upravlenie transportnymi potokami v gorodah / V.T. Kapitanov, E.B. Hilazhev. – Moscow: Transport, 1985. – 94 p.
6. Kremenec Yu.A., Pecherskij M.P., Shchelkov Yu.D. Primenenie tekhnicheskikh sredstv dlya upravleniya dorozhnym dvizheniem. Moscow: Vysshaya shkola, 1974. 188 p.
7. Vruble' Yu.A. O potoke nasyshcheniya / Belarus. politekh. in-t. Minsk, 1988. – 7 p. Ruk. dep. v CBNTI Minavtotransa RSFSR, no. 663. – at. 89.
8. Levashev A.G., Mihajlov A.Yu., Golovnyh I.M. Proektirovanie reguliruemykh peresechenij: Ucheb. Posobie. – Irkutsk: Publ. IrGTU, 2007. – 208 p.
9. Gavrilov A.A. Modelirovanie dorozhnogo dvizheniya. – Moscow: Transport, 1980. – 189 p.