



УДК 656.13



К.ИСАКОВ

КГУСТА ИМ. Н. ИСАНОВА,
БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА
E-MAIL: KUTTUBEK.ISAKOV.59@MAIL.RU

К.ISAKOV

KSUCTA N.A. N. ISANOV,
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC

Л.Н.СТАСЕНКО

КГУСТА ИМ. Н. ИСАНОВА,
БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА
E-MAIL: LSTASENKO51@MAIL.RU

L.N. STASENKO

KSUCTA N.A. N. ISANOV,
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC

Э.Б. СТАЛБЕКОВА

КГУСТА ИМ. Н. ИСАНОВА,
БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА
E-MAIL: AYSULUU96@MAIL.RU

E.B.STALBEKOVA

KSUCTA N.A. N. ISANOV,
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC

E.mail. ksucta@elcat.kg

ЦИКЛ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

CYCLE OF LIGHT-REGULATED REGULATION AND CAPACITY OF ADJUSTABLE CROSSINGS

Бул макалада транспорттук тыгынды жогоу үчүн светофордук объектилердин иштөө циклинин параметрлерин өзгөртүү менен жөнгө салынуучу кесилиштердин өткөрүү жөндөмдүүлүк чоңдугун жогорулатуунун мүмкүн болгон жолдору каралган.

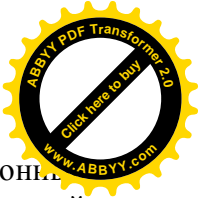
***Чечүүчү сөздөр:** светофорлор, өткөрүү жөндөмдүүлүгү, транспорттук каражаттар, кесилиш, транспорттук тыгынды.*

В данной статье рассмотрены возможные пути повышения величины пропускной способности регулируемых пересечений при изменении параметров цикла работы светофорных объектов для предотвращения транспортных пробок.

***Ключевые слова:** светофоры, пропускная способность, транспортные средства, пересечение, транспортные пробки.*

In given article are considered the possible ways of increasing of the reception capacity value of the controlled intersection when change traffic light cycle for prevention traffic jams.

***Key words:** traffic lights, reception capacity, transport facilities, intersections, traffic jams.*



Важнейшим показателем, характеризующим транспортно-эксплуатационные качества сети городских улиц, является ее пропускная способность. Под пропускной способностью улицы понимают максимальное число автомобилей, которые могут пройти по ней в единицу времени при обеспечении заданной скорости и безопасности движения. В реальных условиях пропускную способность улицы определяет наименьшая пропускная способность одного из ее участков или сечений в частности пересечений в одном уровне.

Пропускная способность полосы движения, зависит от состава транспортного потока (табл. 1), поэтому при расчете пропускной способности весь поток приводят к одному условному составу по типуажу — легковому автомобилю, посредством коэффициентов приведения, которые означают кратность увеличения пропускной способности полосы движения при замене реальных автомобилей условными.

Таблица 1- Зависимость пропускной способности от состава транспортного потока

Показатель движения	Доля легковых автомобилей в потоке, %			
	90	70	50	30
Средняя скорость потока, км/час	50	47	45	43
Пропускная способность, авт/час				
суммарная	<u>3700</u>	<u>33</u>	<u>3060</u>	<u>2840</u>
	<u>5800</u>	<u>54</u>	<u>4760</u>	<u>4400</u>
удельная одной полосы	<u>1850</u>	<u>1690</u>	<u>1530</u>	<u>1420</u>
	<u>1900</u>	<u>1800</u>	<u>1600</u>	<u>1450</u>

В числителе таблицы даны значения для четырехполосных магистралей, в знаменателе – для шестиполосных [1].

В настоящее время для городских условий характерно движение плотных транспортных потоков, то есть движение, при котором интенсивность транспорта близка к пропускной способности проезжей части. По мере приближения интенсивности к предельной пропускной способности не только снижается скорость движения, но и ухудшается стабильность движения (табл. 2).

Движение в режиме предельной пропускной способности следует рассматривать как недопустимое. При проектировании мероприятий по организации дорожного движения в качестве расчетного следует выбирать режим движения, обеспечивающий при длительной загрузке стабильность плотности и скорости транспортного потока. Такие загрузки, как показывает практика, при отсутствии заторов и обеспечении достаточно высоких скоростей движения являются не только относительно безопасными для движения, но и экономически более выгодными. Из этих соображений при эксплуатации сети улиц рекомендуется стремиться к тому, чтобы значения пропускной способности одной полосы движения соответствовали допустимому уровню загрузки движением.

Таблица 2- Зависимость режима потока от удельной интенсивности движения

Характеристика режима потока	Скорость, км/час	Удельная интенсивность движения авт/час
Свободный	96	1000
Стабильный	88	1500
Приближающийся к нестабильному	64	1800
Нестабильный	64	2000
Заторы движения	48	2000

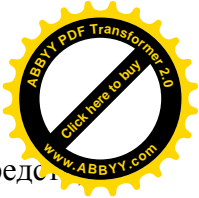


Таблица 3-Максимальное фактическое количество однородных транспортных средств, проходящих в 1 час по полосе движения через пересечение в одном уровне, для обеспечения движения без очередей

Транспортные средства	Максимальное фактическое количество однородных транспортных средств, проходящих в 1 час по полосе через пересечение в одном уровне
Легковые	600
Грузовые	300 – 400
Автобусы	100 – 150
Троллейбусы	70 - 90

В случае, когда интенсивность движения на перекрестке относительно мала, перекресток может функционировать как не регулируемый. При этом эффективность такого пересечения обуславливается достаточным количеством полос движения на подходах к перекрестку, а также канализированием транспортных потоков. В случае, когда интенсивность движения увеличивается и достигает определенных значений, организация движения на пересечении в одном уровне становится возможным лишь при использовании светофорной сигнализации (рис. 1.).

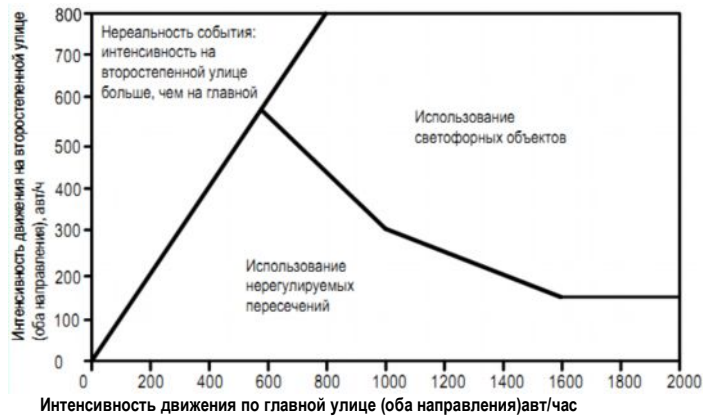
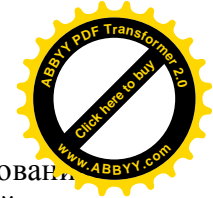


Рис. 1. Условия использования различных видов ОДД на пересечениях [4]

Регулируемый перекрёсток – это перекрёсток, оборудованный светофорной системой управления движением. Светофорное регулирование движения предназначено для попеременного пропуска транспортных и пешеходных потоков по взаимно конфликтующим направлениям. Прежде всего, это относится к перекресткам с интенсивным движением, где с помощью только знаков и разметки нельзя обеспечить безопасность движения.

Регулирование на перекрестках с помощью сигналов светофора разделяет во времени конфликтующие потоки дорожного движения и способствует улучшению условий и качества передвижения, повышению уровня безопасности движения. Сигналы светофора могут переключаться как через определенные промежутки времени (фазы сменяются через определенные промежутки времени, независимо от интенсивности дорожного движения), так и с учетом интенсивности движения (продолжительность фазы приспособляется к количеству проезжающих автомобилей вплоть до определенной максимальной продолжительности фазы). Светофор может быть снабжен отдельными фазами для каждого потока автомобилей на перекрестке (бесконфликтное регулирование), или общими фазами для части транспортных потоков. На перекрестках улиц Бишкека бывает так, что поворачивающие направо водители едут, когда у пешеходов горит зеленый свет, а поворачивающие налево водители едут, когда у встречного движения горит зеленый. Разрешается маневр правого поворота на красный сигнал светофора.



Сегодня достаточно много внимания уделяется совершенствованию светофорного регулирования транспортных потоков на улично - дорожной сети. Особенно следует отметить, варианты решения проблемы заторов путем оптимизации параметров цикла светофорного регулирования.

В городе Бишкек ежегодно обустраиваются светофорным регулированием новые перекрестки. Совершенствуется существующее светофорное регулирование: вводятся новые фазы, исключаются "конфликтные" фазы, меняются продолжительность и порядок фаз; устанавливаются дополнительные светофоры (дополнительный светофор на внешней стороне перекрестка). Устанавливаются пешеходные светофоры. На многих перекрестках введен зеленый мигающий сигнал, предупреждающий о смене фазы. При низкой интенсивности движения на отдельных перекрестках работает желтый мигающий сигнал.

Количество фаз регулирования на пересечениях зависит от интенсивности поворотного движения. На регулируемых перекрестках города Бишкек применяется двухфазное, трех и четырехфазное регулирование дорожного движения.

Когда на улице имеются регулируемые пересечения в одном уровне, пропускную способность определяют с учетом этих пересечений.

Пропускная способность регулируемого пересечения определяется пропускной способностью проезжих частей в сечении «стоп-линий» $N_{сл}$ улиц, образующих данное пересечение и числом этих улиц d .

$$N_{\gamma} = \sum_{i=1}^d N_{\tilde{N}i}, \quad (1)$$

где d – количество улиц, входящих в узел; $N_{сл}$ – пропускная способность проезжей части в сечении «стоп-линий» улиц, входящих в узел.

Пропускная способность проезжей части улицы в сечении «стоп-линия» $N_{сл}$ зависит от следующих показателей:

- длительности горения зеленого сигнала светофора;
- принятого режима регулирования, в частности от отношения продолжительности разрешающего сигнала светофора к общей длительности светофорного цикла – пофазного коэффициента;
- общей интенсивности транспортных средств, проходящих через стоп - линию;
- интенсивности левоповоротного движения;
- числа полос движения в сечении «стоп»;
- времени пуска в ход автомобиля, стоящего непосредственно перед стоп-линией;
- от величины временных интервалов между автомобилями, проходящими перекресток и времени движения транспорта через перекресток при его освобождении.

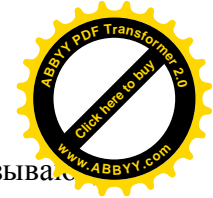
При проведении расчетов принимаем следующие условия:

- для увеличения числа полос на выходе с пересечения, пропуск транспортных потоков ведется по схеме несимметричного перекрестка;
- время горения желтого сигнала светофора постоянно и равно 4 секундам;
- время, необходимое для пропуска очереди задержанных светофором автомобилей, соответствует продолжительности разрешающего сигнала;
- работа пересечений рассматривается в условиях движения потоков большой плотности;
- зеленая фаза используется полностью;

В этих условиях пропускная способность одной полосы проезжей части в сечении «стоп» будет равна:

$$N = \frac{3600(t_z - a)}{t_n T_{\gamma}} \quad (2)$$

где, t_z - продолжительность зеленой фазы, сек.; T_{γ} - продолжительность цикла регулирования, сек.; t_n - средний интервал прохождения автомобилей через «стоп-линию», сек.; a - задержка на старте.



Наблюдения за условиями движения на пересечениях города Бишкек показывают, что в начале основного такта ожидающие разрешающего сигнала транспортные средства начинают движение с некоторой задержкой, которая связана с реакцией водителя на разрешающий сигнал и с разгоном транспортных средств (величина a). Продолжительность этой задержки в условиях плотных потоков составляет 1 – 2 секунды. По окончании горения зеленого сигнала, продолжается движение транспортных средств, которые не смогли своевременно остановиться у стоп-линий, на желтый сигнал. Продолжительность движения на желтый сигнал светофора так же составляет 1 – 2 секунды. Учитывая, что движение через линию «стоп» не только начинается позже момента включения разрешающего сигнала, но и заканчивается позже момента его окончания, формулу 1 можно представить в виде:

$$N = \frac{3600 \times t_3}{t_{\pi} T_{\text{ц}}} \quad (3)$$

Пропускная способность регулируемого пересечения зависит от режима регулирования, принятого на перекрестке. Решающим является отношение продолжительности зеленой фазы к длительности цикла регулирования – пофазный коэффициент, который определяет величину пропускной способности проезжей части в сечении линии «Стоп». Пофазный коэффициент K_{ϕ} можно определить по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{t_3}{T_{\text{ц}}} \quad (4)$$

где t_3 – время горения зеленого сигнала светофора; $T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла.

Подставляя значение K_{ϕ} в формулу 2, получаем:

$$N = \frac{3600 \times K}{t_{\pi}} \quad (5)$$

Учитывая, что в условиях смешанного потока автомобилей, который наблюдается на улицах города Бишкек, величину t_{π} рекомендуется принимать равной 3 секундам [3], получаем формулу расчета пропускной способности полосы движения в сечении «стоп».

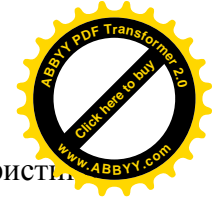
$$N = 1200 K_{\phi} \quad (6)$$

Для изучения возможности выбора оптимальной продолжительности светофорного цикла на пересечениях в одном уровне были проведены наблюдения за условиями движения транспортных потоков на регулируемых пересечениях города Бишкек. В качестве объектов исследования выбраны 6 загруженных транспортными потоками пересечений (табл. 4,5).

Все исследуемые пересечения простые, неканализованные, в одном уровне, расположены на горизонтальных участках. Улицы пересекаются между собой под прямым углом. Планировка пересечений зрительно ясная и простая, направления движения в зоне пересечения видимы водителями заблаговременно. На пересечениях имеет место взаимодействие конфликтующих транспортных и пешеходных потоков.

Ширина проезжей части пересекающихся улиц на пересечениях IV класса 15 м (7,5 м в каждом направлении). На пересечениях IV и VI классов проезжая часть главных улиц 15 м, по две полосы в каждом направлении. Ширина проезжей части второстепенных улиц от 10,0 метров на улице Айни, до 12 метров, по 5 – 6 метров в каждом направлении на улице Медерова.

На пересечениях введено жесткое двухфазное регулирование движения, на пересечениях Байтикбаатыра – Кулатова регулирование – трехфазное, Медерова –



Байтикбаатыра – четырехфазное. В таблицах 4 и 5 отражены фактические характеристики пересечений.

Таблица 4-Характеристика пересечения

Наименование улиц	Класс пересечения	Класс пересекающихся улиц		Количество полос движения (в одном направлении)	
		главная	второстеп.	главная	второстеп.
Горького – Байтикбаатыра	IV	общегор. значения	общегор. значения	2	2
Абдрахманова – Чуй	IV	общегор. значения	общегор. значения	2	2
Медерова – Байтикбаатыра	V	общегор. значения	районного значения	2	1
Медерова – Юнусалиева	VI	районного значения	районного значения	2	1
Байтикбаатыра – Кулатова	V	общегор. значения	районного значения	2	1
Айтматова – Айни	V	общегор. значения	районного значения	2	1

Таблица 5 - Характеристика условий движения на пересечении

Пересечение	$I_{гл} : I_{вт.}$	$T_{ц}$	Пофазный коэффициент		Пропускная спос. полосы движ.	
			главная	второстеп.	главная	второстеп.
Горького – Байтикбаатыра	1:0,97	51	0,49	0,37	767	583
Абдрахманова – Чуй	1:0,99	65	0,45	0,43	698	674
Медерова – Байтикбаатыра	1:0,72	65	0,32	0,31	529	481
Медерова – Юнусалиева	1:0,85	46	0,45	0,37	714	578
Байтикбаатыра – Кулатова	1:0,5	73	0,46	0,28	480	336
Айтматова – Айни	1:0,7	44	0,48	0,34	613	438

В таблице 5 приняты следующие условные обозначения: $I_{гл} : I_{вт.}$ – соотношение удельных интенсивностей движения; $T_{ц}$ – продолжительность цикла регулирования на пересечении в настоящий период.

При увеличении продолжительности цикла регулирования светофорных объектов, время горения зеленого сигнала по направлениям принималось пропорционально интенсивности движения на подходах к пересечению. На пересечениях с трех и четырехфазным регулированием увеличивалось время горения зеленого сигнала только при пропуске транспортных потоков прямого направления. Время пропуска лево и право поворотных потоков на пересечении улиц Байтик баатыра и Медерова оставляем неизменным, равным 8 секунд.

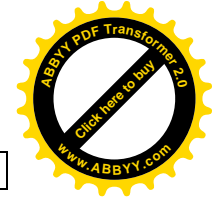
В таблице 6 отражены результаты расчета изменения пропускной способности полосы движения сечения «Стоп» на рассматриваемых пересечениях при увеличении продолжительности цикла регулирования.

Основными ограничениями при расчете режима регулирования являются минимальная и максимальная допустимые длительности цикла регулирования, а так же минимально-допустимые длительности зеленого сигнала, и максимально-допустимая длительность красного сигнала для пешеходных потоков.



Таблица 6-Изменение пропускной способности полосы «стоп линии» при увеличении цикла регулирования

Тц	tz		К		N _{пол}		% изменения	
	главн	второст.	главн	второст.	главн	второст.	главн	второст.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пересечение Горького – Байтикбаатыра								
40	17	15	0,42	0,38	504	456	-	-
51	22	21	0,43	0,41	516	494	+2	+8
60	27	25	0,45	0,42	540	504	+4	+2
70	32	30	0,46	0,43	552	516	+2	+2
80	37	35	0,46	0,44	552	525	0	+1
90	42	40	0,47	0,44	564	528	+2	0
120	58	54	0,48	0,45	576	540	+2	+2
Пересечение Абдрахманова - Чуй								
50	21	21	0,42	0,42	504	504	-	-
60	26	26	0,43	0,43	520	520	+3	+3
70	31	31	0,44	0,44	531	531	+2	+2
80	36	36	0,45	0,45	540	540	+1	+1
90	41	41	0,45	0,45	540	540	0	0
120	56	56	0,47	0,47	564	564	+2	+2
Пересечение Медерова – Байтикбаатыра								
50	16	11	0,32	0,22	384	264	-	-
60	22	14	0,37	0,23	444	276	+15	+5
70	29	17	0,41	0,24	492	291	+10	+5
80	36	20	0,45	0,25	540	300	+10	+3
90	41	25	0,45	0,28	540	333	0	+11
100	48	28	0,48	0,28	576	336	+6	0
120	61	35	0,5	0,29	600	348	+4	+3
Пересечение Медерова - Юнусалиева								
50	24	18	0,48	0,36	576	432	-	-
60	28	24	0,48	0,38	576	456	0	+6
70	34	28	0,48	0,4	576	480	0	+5
80	39	33	0,49	0,41	585	495	+1	+3
90	44	38	0,49	0,42	588	507	+0,5	+2
120	60	52	0,5	0,43	600	520	+2	+2
Пересечение Кулатова – Байтикбаатыра								
60	29	15	0,48	0,25	576	300	-	-
70	36	18	0,51	0,26	612	308	+6	+3
80	42	22	0,53	0,28	636	336	+4	+9
90	49	25	0,54	0,28	648	336	+2	0
100	56	28	0,56	0,28	672	336	+3	0
120	69	35	0,57	0,29	684	350	+1	+4
Пересечение Айтматова - Айни								
40	19	13	0,48	0,33	576	390	-	-
50	25	17	0,5	0,34	600	408	+4	+4
60	31	21	0,52	0,35	624	420	+4	+2
70	37	25	0,53	0,36	636	428	+2	+2
80	42	30	0,53	0,37	636	444	0	+3
90	48	34	0,53	0,38	636	456	0	+2



120	66	46	0,55	0,38	660	456	+3	0
-----	----	----	------	------	-----	-----	----	---

Например, для случая, когда на всех подходах к перекрестку имеется не более двух полос движения, рекомендуется максимальное значение цикла регулирования принимать равным 90 с. Для случая большого пересечения этот параметр может достигать 120 с.

Таблица 7 -Ограничения, используемые при выборе тактов регулирования

Такт регулирования	Максимально-допустимое значение	Минимально-допустимое значение
Цикл регулирования	120 или 90 секунд	30 секунд
Зеленый сигнал для транспортного потока		10 секунд

Анализ данных таблицы 6 позволяет сделать следующие выводы:

1. Обеспечение бесперебойного пропуска увеличивающегося парка транспортных средств в условиях несоответствия улично дорожной сети и дефицита протяженности дорог возможно за счет оптимального использования существующей дорожной сети и эффективного использования технических средств регулирования движением.

2. При двухтактном регулировании движения на пересечениях магистральных улиц рост пропускной способности полосы движения «стоп» линии отмечается при увеличении продолжительности цикла до 70 секунд (с одновременным увеличением времени горения зеленого сигнала). При дальнейшем увеличении продолжительности цикла эффект замечен менее.

3. При трех и четырехтактном регулировании движения на пересечениях рост пропускной способности полосы движения «стоп» линии отмечается при увеличении продолжительности цикла до 80 секунд (с одновременным увеличением времени горения зеленого сигнала).

4. При увеличении длительности разрешающих движение фаз относительные потери в цикле уменьшаются. Максимальные значения потерь наблюдаются на перекрестках с относительно коротким циклом светофорного регулирования.

Список литературы

1. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов [Текст] Е.М.Лобанов. –М.: Транспорт, 2002. - 240 с.
2. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений [Текст]: учеб. Пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. -Иркутск: ИрГТУ, 2007. - 208 с.
3. Самойлов Д.С. Организация и безопасность городского движения [Текст] /Д.С. Самойлов, В.А. Юдин, П.В. Рушевский. - М.: Высшая школа, 1981. - 254 с.
4. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000.
5. McShane, W. and Roess R. Traffic engineering // Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.