

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РЕГУЛИРУЕМЫХ
ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЦИКЛА СВЕТОФОРНОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ**

**IMPROVING THE CAPACITY AT CONTROLLED INTERSECTIONS BY CHANGING
THE CYCLE OF TRAFFIC SIGNALIZATION**

Бул макалада унаа каражаттарынын кыймылынын интенсивдүүлүгүн эске алуу менен светофордук объектилердин иштөө режимин жөнгө салуунун методикасы жана ошондой эле светофордук жөнгө салуунун циклин өзгөртүү менен шаардагы жөнгө салынуучу кесилиштердин өткөрүү жөндөмдүүлүгүн жогорулатуу каралган.

***Ачкыч сөздөр:** светофор, интенсивдүүлүк, цикл, кесилиш, жөнгө салуу, өткөрүү жөндөмдүүлүгү.*

В данной статье представлена методика регулирования режима работы светофорных объектов с учетом интенсивности движения транспортных средств и соответственно увеличение пропускной способности регулируемых пересечений города посредством изменения цикла светофорного регулирования.

***Ключевые слова:** светофор, интенсивность, цикл, пересечение, регулирование, пропускная способность.*

In this article presents a method of adjusting the operating mode of traffic lights, taking into account intensity of movement of vehicles and thus increase the capacity at controlled intersections in city by changing the traffic light cycle regulation.

***Keyword:** traffic light, intensity, cycle, intersection, controlled, capacity.*

Основными критериями оценки эффективности транспортной инфраструктуры являются скорость, доступность и затраты времени на передвижения. В число основных требований к транспортной инфраструктуре входят:

- рациональное распределение объемов движения;
- сочетание скорости передвижения с комфортностью;
- безопасность.

В настоящее время в Кыргызстане наблюдается рост уровня автомобилизации, что приводит к перегрузке улично-дорожной сети и заторам. Существующая интенсивность движения, особенно в центре города Бишкек, приближается к уровню пропускной способности. В связи с этим внешние факторы, такие как погодные условия, дорожно-транспортные происшествия, факторы техногенного характера способны значительно снизить среднюю скорость движения на этих участках. Это неминуемо ведёт к цепной реакции и ухудшению дорожной обстановки на соседних участках, на которых, в свою очередь, интенсивность также близка пропускной способности.

Наблюдения, проводимые на магистральных улицах города Бишкек, показали, что скорость транспорта в «часы пик» снижается до 20-25км/ч, расход горючего на 40% выше, чем при нормальной загрузке улично-дорожной сети. Частые остановки автомобилей у

перекрестков значительно ускоряют износ ходовой части транспортных средств и разрушают дорожное покрытие с образованием сдвигов и волн на нем. Во время остановки транспорта у перекрестков и в момент начала движения двигатели работая вначале вхолостую, а затем на малых оборотах, выделяют значительное количество выхлопных газов, загрязняющих воздух в городе. Выброс вредных веществ в режиме затора в 2,5 раза больше, чем при скорости 40-60 км/час. В результате резкого падения скорости движения на подходе к пересечениям улиц и проходе через них, водители транспортных средств стараются компенсировать его последующим движением со скоростью, превышающей разрешенную и зачастую игнорируя приоритетные пешеходные потоки. Возникающая напряженность движения на улицах и дорогах городов приводит к увеличению числа ДТП и несчастных случаев. Из сказанного ясно, что обеспечение быстрого и безопасного движения транспорта в современных городах имеет огромное значение.

Несмотря на широкое распространение заторов в условиях плотных транспортных потоков на улично-дорожной сети крупных и крупнейших городов, вопросы, касающиеся их возникновения, существования и исчезновения являются недостаточно изученными. Разработка новых инновационных методов организации движения на пересечениях городских улиц, позволяющих уменьшить потери времени путем сокращения заторов транспортных потоков является актуальной задачей современности.

Целью проводимого исследования является разработка методике регулирования режима работы светофорных объектов с учетом интенсивности движения транспортных средств и других факторов, влияющих на режим работы светофоров и соответственно увеличение пропускной способности регулируемых пересечений города посредством изменения цикла светофорного регулирования.

Практически все пересечения и примыкания городских улиц города Бишкек, за редким исключением, независимо от их назначения и категории, по планировочным характеристикам, являются пересечениями в одном уровне. На пересечениях магистральных улиц введено светофорное регулирование движения транспорта и пешеходов. Основными факторами, влияющими на режим работы светофорных объектов, являются интенсивность движения на пересекающихся улицах, направления движения транспортных потоков и геометрические параметры пересечений.

Анализ степени влияния всех названных факторов на условия движения на пересечении сливается в решение следующих задач: определение интенсивности движения транспортных средств и оценка пропускной способности пересечений в одном уровне.

Геометрические параметры, в частности ширина проезжей части пересекающихся улиц, определяют величину пропускной способности, но в Бишкеке, на рассматриваемых пересечениях в случае, когда входные сечения улиц по ширине недостаточны для обеспечения одновременного расчленения транспортного потока на прямой, правоповоротный и левоповоротный, уже применяется пропуск транспортных средств по схеме «несимметричного» перекрестка. Увеличение количества полос движения посредством уширения проезжей части эффективно, но весьма затратно, а в некоторых случаях на отдельных участках улично-дорожной сети невозможно, поэтому для повышения пропускной способности регулируемых пересечений в одном уровне, рассматривается вариант регулирования режима работы светофорных объектов.

В ходе анализа улично-дорожной сети Бишкека были рассмотрены наиболее загруженные транспортными потоками пересечения с относительно равной интенсивностью движения на пересекающихся улицах.

В качестве примера в статье рассматривается пересечение ул.Ахунбаева с пр.Мира, где транспортные заторы – частое явление, интенсивность движения в «часы пик» по направлениям СЮ, ВЗ, ЗВ составляет 1900 – 2100 авт/час.

Пересечение пр.Мира с ул.Ахунбаева - пересечение магистральных улиц общегородского значения, регулируемого движения, по существующей классификации оно относится к транспортным узлам IV класса. Основную часть транспортного потока на пересечении составляет транзитное движение. Транспорт в основном легковой автомобильный, а так же общественный, который представлен автобусами, троллейбусами и микроавтобусами. Наличие автобусов и особенно троллейбусов с их низкой маневренностью в транспортном потоке сильно усложняет условия движения на пересечении. Особенно если учесть наличие левоповоротного движения троллейбусами в направлениях движения север – восток и запад - север. На пр.Мира грузовое движение запрещено.

Пересечение пр.Мира и ул.Ахунбаева в одном уровне, расположено оно на горизонтальном участке. Это простое четырехстороннее пересечение с принудительным регулированием движения транспорта и пешеходов. В планировке пересечения нет специальных островков, выделяющих специальные полосы на проезжей части для организации поворачивающего и пешеходного движения. Улицы пересекаются между собой под прямым углом. Планировка пересечения зрительно ясная и простая, направления движения в зоне пересечения видимы водителями заблаговременно. На восточной стороне пересечения, на ул.Ахунбаева находится остановка общественного транспорта, расположенная в 1-2 метрах от границы пересечения, что очень неблагоприятно для обеспечения безопасности движения на данном участке. На рассматриваемом пересечении имеет место взаимодействие конфликтующих транспортных и пешеходных потоков, поэтому для упорядочения поочередного их пропуска применена светофорная сигнализация.

Ширина проезжей части пр.Мира - 15 м. В сечении стоп – линия на северной стороне перекрестка 4 полосы движения – две – прямое движение, одна – правоповоротное движение, одна – левоповоротное движение. Ширина проезжей части составляет $3 \cdot 4 = 12$ м.

Ширина проезжей части ул.Ахунбаева на западной стороне пересечения 21 метр, на восточной стороне – 15 метров. Движение транспорта по пр.Мира организовано в 4 ряда (по 2 в каждом направлении движения). На ул.Ахунбаева движение транспорта организовано следующим образом:

- западная сторона пересечения - в 6 рядов (по три в каждом направлении) при ширине полосы движения 3,75м;
- восточная сторона пересечения – в 4 ряда, по две полосы в каждом направлении.

Структура цикла регулирования на пересечении может быть представлена следующим образом: $68 = 30 + 4 + 30 + 4$.

Суть регулирования режима работы заключается в увеличении продолжительности разрешающего сигнала (зеленого) светофорного объекта по конкретным направлениям движения, по которым подтверждены соответствующие интенсивности. Параллельно необходимо увеличение продолжительности разрешающего сигнала (зеленого) светофорного объекта по пересекающим направлениям движения, если интенсивности транспортных средств примерно равны на рассматриваемых направлениях движения. В результате сокращается количество остановок (частота остановок) транспортных потоков на запрещающем сигнале (красном) на пересечениях от Δ до a)-а, за определенные промежутки времени (час, сутки), и соответственно общее время прохождения

транспортных средств увеличивается от T до $T+\Delta T$. При этом время T характеризует сумму экономии времени за счет сокращения частоты остановок за определенный промежуток времени.

По данным табл.1 построено графическое изображение процессов. По оси ординат откладывается количество транспортных средств N проезжающих через пересечение за один цикл и одновременно показано количество не проехавших $N_{\text{непр}}$ автомобилей, то есть представлена картина процесса образования пробок в рассматриваемом цикле. По оси абсцисс приведено количество рассматриваемых циклов. При этом в приведенном на графике (Рис.1.) цикле, продолжительностью 68 секунд, который действует на исследуемом пересечении в настоящее время, длительность горения разрешающего сигнала составляет 30 секунд.

Таблица 1-Итоги расчета результатов наблюдений после обработки

№ п/п	№ цикла	t_n , сек.	$N_{\text{непр}}$.	$N_{\text{пр}}$.	Средняя интенсивность за 9 циклов
1	I	30	5	27	1620
2	II	30	9	28	1680
3	III	30	11	25.5	1530
4	IV	30	15	28.0	1680
5	V	30	17	25.0	1500
6	VI	30	21	25.0	1740
7	VII	30	26	26.5	1596
8	VIII	30	30	28.0	1680
9	IX	30	32	25.0	1500

Для того, чтобы увидеть картину образования транспортного затора при интенсивности движения транспорта в одном направлении 1900-2100 авт./час, используя графическое изображение, выведем эмпирическую зависимость. Результаты подсчета показали, что пропускная способность пересечений в среднем за один цикл в рассматриваемом направлении движения составила $N=27$ и описывается уравнением (линия 2):

$$y = 27 \quad (1)$$

Процесс образования транспортного потока описывается уравнением (линия 1):

$$y=3,375x+1,625 \quad (2)$$

$$y=41$$

$$y=2,7x+2,3 \quad x=14 \text{ или на } 17 \text{ минуте.}$$

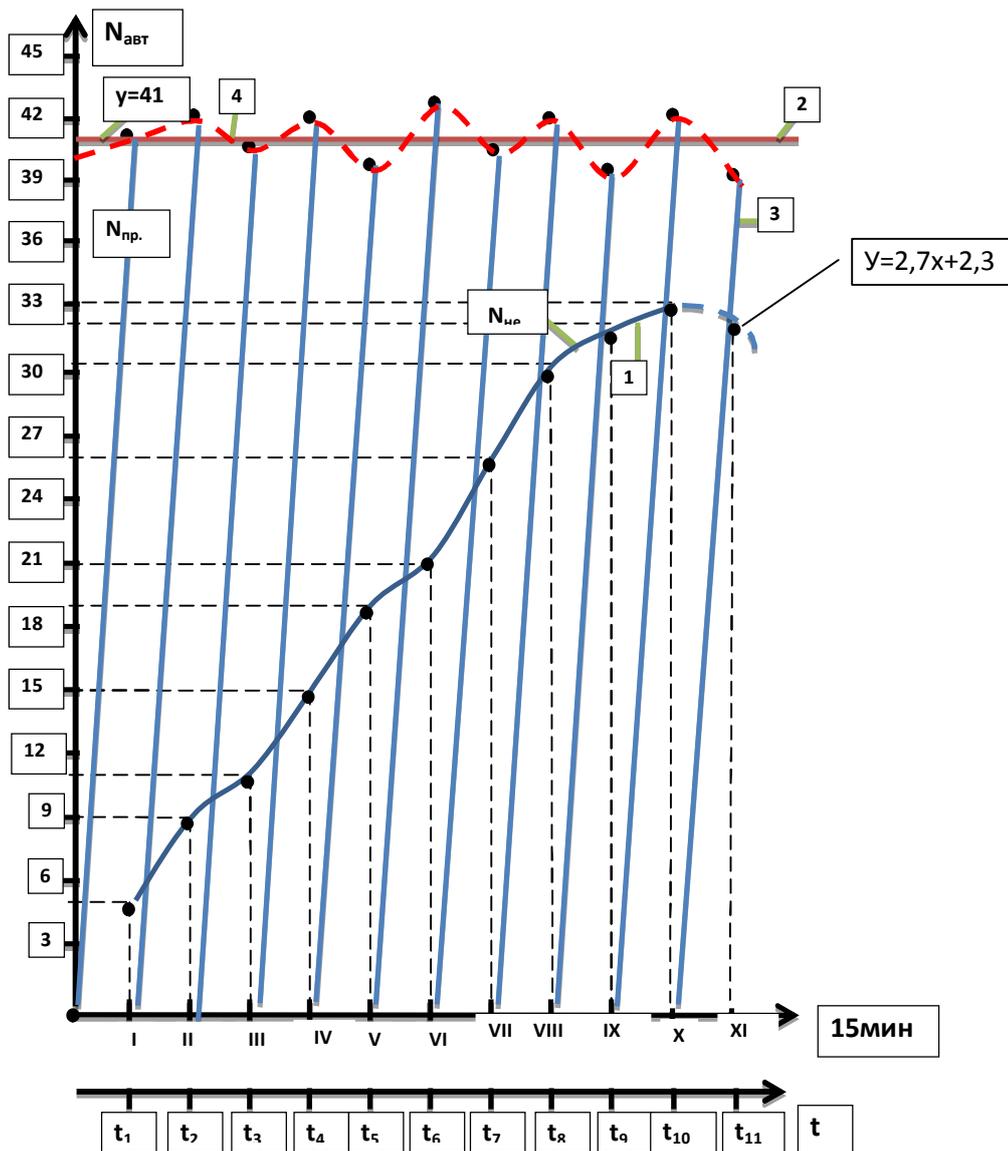


Рис.1. График образования транспортных пробок по пр.Мира в направлении движения Север – Юг:

- 1 линия - характеризующая рост количества транспортных средств неуспевших проехать перекресток за 30 секунд в разрешающем сигнале светофора (зеленый сигнал);
- 2 линия - характеризующая среднее значение количества транспортных средств, проехавших за 1 циклов– при разрешающем сигнале светофора, продолжительностью 30 секунд;
- 3 линия - характеризующая количество транспортных средств, проехавших за 30 секунд при разрешающем сигнале светофора (зеленый);
- 4 пунктирная линия - отражающая реальные изменения количества проехавших транспортных средств за каждый промежуток времени по 30 секунд при разрешающем сигнале светофора.

2. Интенсивность движения транспорта в одном направлении на пересечении 2000 – 2100ед/час.

$$\begin{cases} y - 27 \\ y - 3,375x + 1,625 \end{cases} \begin{cases} y = 3,375x + 1,625 \\ 3,375x = 27 - 1,625 \end{cases} \begin{cases} 3,375x = 25,375 \\ x = 25,375/3,375 = 7,518 \end{cases} \\ x = 7,518 \text{ или на } 9 \text{ минуте.} \end{cases}$$

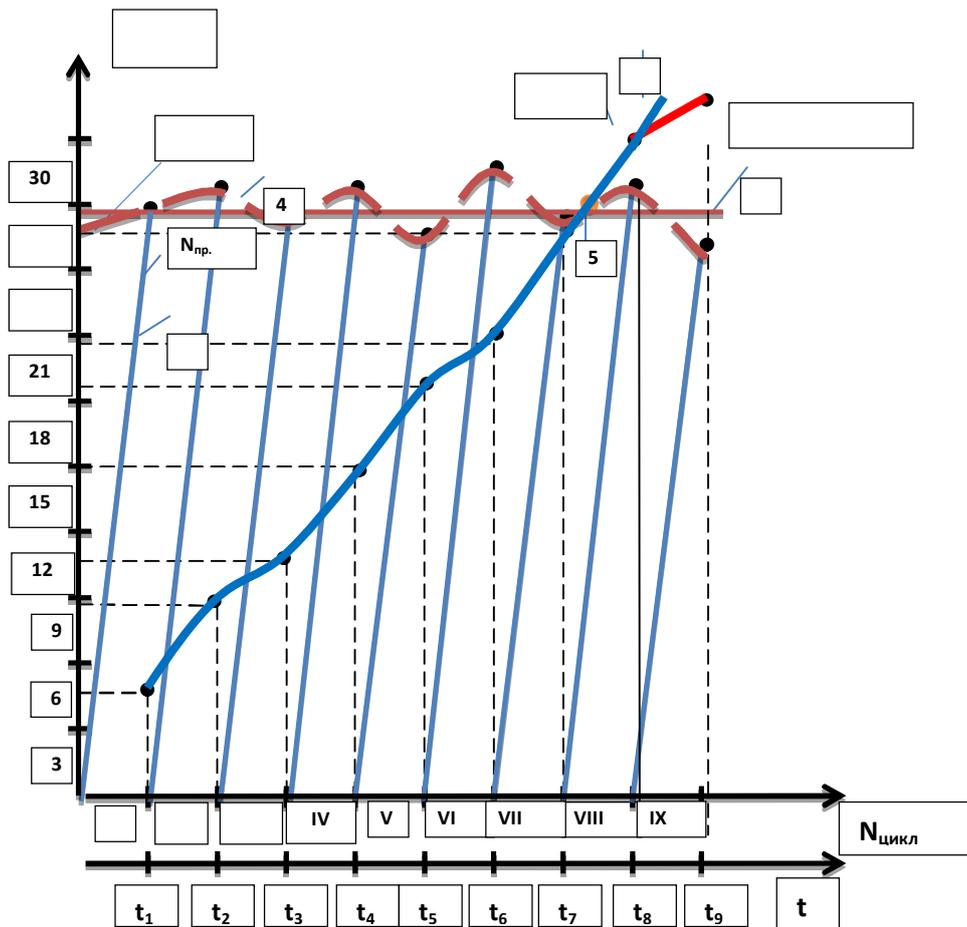


Рис. 2. График образования транспортных пробок по пр. Мира в направлении Север – Юг:
1 линия - характеризующая рост количества транспортных средств неуспевающих проехать перекресток за 30 секунд в разрешающем сигнале светофора (зеленый сигнал);
2 линия - характеризующая среднее значение количества транспортных средств проехавших за **9 циклов** при разрешающем сигнале светофора, длительностью 30 секунд;
3 линия - характеризующая количество транспортных средств проехавших за 30 секунд – при разрешающем сигнале светофора (зеленый);
4 пунктирная линия - характеризующая реальные изменения количества проехавших транспортных средств за каждый промежуток времени по 30 секунд при разрешающем сигнале светофора;
5 точка - пересечения линий характеризующих среднее значение количества прошедших транспортных средств за **9 циклов** при разрешающем сигнале 30 секунд каждый, из линий характеризующих образование транспортных пробок или точка «насыщения».

На математическом языке общее решение уравнения (1) и (2) находится в точке пересечения уравнений (1) и (2).

Графическое решение уравнений находится в точке 5 – которая (по абсциссе) располагается на $\frac{1}{3}$ части между циклами VII и VIII и показывает десятую секунду после 7-го цикла, т. е. на 9-й минуте от начало «часа пик» точка пересечения на сечении 5-ть линий 1 и 2 характеризует образование транспортного затора, когда подъехавшие машины при зеленом сигнале светофора после 10-й секунды между VII и VIII циклом уже не могут проехать на данном разрешающем сигнале светофора.

Для более точного определения точки «насыщения 5» составим систему уравнений:

$$\begin{cases} y = 27 \\ y = 3,375x + 1,625 \end{cases} \quad (3)$$

при этом получим более точный ответ $x=7,518$, который означает транспортный затор, который начинается на VII цикле после 15 секунд при разрешающем сигнале светофора.

Физический смысл выражения «точка насыщения 5» - означает, что подъехавшие машины к перекрестку в начале разрешающего сигнала светофора на VII цикле уже не могут проехать через пересечение, и будут ожидать следующего цикла.

Таким образом, при таком режиме работы светофора, машины, подъехавшие к перекрестку в течение «часов пик», попадают в пробку и могут простоять несколько циклов. Данная ситуация возможна при интенсивностях $N=2000-2100$ авт./час.

Результаты исследования режима работы светофора на пересечении ул.Ахунбаева и пр.Мира при длительности зеленого сигнала равном 30 секунд, показали, что в утренние «часы пик» (8⁰⁰ – 9⁰⁰ часов) при интенсивности движения $N=2000-2100$ авт./час наблюдаются транспортные пробки. При этом за 30 сек, пропускная способность данного перекрестка составляет 27-32 авт.

Также можно отметить, что после 10 циклов процесс нарастания количества транспортных средств стабилизируется, и в некоторых случаях уменьшается.

Исходя из методики решения задачи, обосновываем теоретически, при каком значении длительности зеленого сигнала процесс образования пробок и заторов будет отсутствовать.

Будем считать, что между циклами (по оси абсцисс) длительность разрешающего сигнала светофора равна 45 сек, вместо 30 сек, интенсивность же остается без изменения, т.е. линия 1 на рис. 3 не изменится.

Далее, если при длительности зеленого сигнала светофора 30 сек пропускная способность пересечения составляет 27 авт., тогда при 45 сек она будет равна 41 авт., т.е.:

$$y=41 \quad (4)$$

и вторая эмпирическая зависимость будет выглядеть следующим образом:

$$y=2,7x+2,3 \quad (5)$$

В результате получим систему уравнений для режима работы светофора с продолжительностью разрешающего сигнала светофора 45 сек с соответствующей пропускной способностью 41 авт.:

$$\begin{cases} y = 41 \\ y = 2,7x + 2,3 \end{cases} \quad (6)$$

При решении системы уравнений получим $y=41$, $x=14$;

Это означает, что если интенсивность будет расти по описанному закону до 8 цикла, то процесс образования пробки начинается с 14 цикла (в графике не показано), или на 17 минуте «часа пик». Такое возможно только в том случае, когда на перегонах образуются транспортные заторы.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. При максимальной интенсивности движения на двухполосной проезжей части в каждом направлении для уменьшения пробок на пересечениях необходимо установить длительность разрешающего сигнала светофора не менее 35 сек.

2. При этом пропускная способность пересечений увеличивается прямо пропорционально в 1,2 раза за счет уменьшения частоты остановок на пересечениях.

Список литературы

1. http://ru.wikipedia.org/wiki/Дорожный_затор
2. vestnik-glonass.ru/~njmwP
3. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов [Текст] / Е.М.Лобанов. -М.: Транспорт, 2002. -240 с.
4. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений [Текст]: Учеб. пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. -Иркутск: ИрГТУ, 2007. -208 с.

5. Руководство по регулированию дорожного движения в городах [Текст]. -М.: Стройиздат, 1974. -97 с.

6. Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов[Текст] / М.С.Фишельсон. - М.: Высшая школа, 1985. -239 с.