

## **ЗАВИСИМОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАТОРОВ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ И ЧИСЛА ПОЛОС ДВИЖЕНИЯ**

### **THE DEPENDENCY OF THE TRAFFIC-JAM FORMATION FROM INTENSITY AND NUMBERS OF THE MOTION BANDS**

*Бул макалада Асаналиев - Толстой көчөлөрүнүн кесилишинде транспорттук тыгыздардын пайда болуу процессин изилдөөнүн жыйынтыгы чагылдырылган. Түз сызыктуу теңдеме жана автомобилдердин интенсивдүүлүгү, жүрүү тилкелеринин санынан тыгыздардын пайда болуусунун көз карандылыгынын графигин берүүчү эмпирикалык көз карандылык көрсөтүлгөн.*

***Ачык сөздөр:** кыймылды уюштуруу, тыгын, интенсивдүүлүк, кесилиш, транспорт, жүрүү жолдору.*

*В статье отражены результаты изучения процесса образования транспортных заторов на пересечении улиц Асаналиева – Толстого. Представлена эмпирическая зависимость, представляющая собой уравнение прямой, и график зависимости образования заторов от интенсивности и числа полос движения.*

***Ключевые слова:** организация движения, затор, интенсивность, пересечение, транспорт, полоса движения.*

*In this article presents the research results of traffic jams formation at the intersection of Asanaliev - Tolstoy. It presents empirical relationship, which is the line equation, and a relationship graph of traffic jams formation on the intensity and number of lanes.*

***Keywords:** traffic organization, traffic-jam, intensity, transport, motion bands.*

В Бишкеке тенденция развития процессов дорожного движения определяется в первую очередь возрастающей плотностью транспортных потоков и дальнейшим ростом задержек их движения. Это связано в значительной степени существенным отставанием темпов развития городской улично-дорожной сети от темпов автомобилизации города. Эти объективные причины, в частности, и определяют то обстоятельство, что более 25 % всех происшествий и 20 % всех пострадавших в результате дорожно-транспортных происшествий приходится на столицу республики.

Транспортная система и улично-дорожная сеть играют одну из главенствующих ролей в обеспечении удобств и безопасности городского движения, удовлетворении постоянно растущих культурно-бытовых потребностей горожан. При этом особую остроту принимает проблема борьбы с аварийностью и ее последствиями. Поскольку пространственно-временное распределение движения и основные параметры транспортных и пешеходных потоков относятся к случайным величинам, то при установлении количественных и качественных характеристик применяются методы математической статистики.

Для исследования движения транспортных средств и пешеходов и объективного анализа получаемых результатов необходимо располагать достаточно полными данными о дорожных условиях. Натурные исследования являются единственным способом получения достоверной информации о состоянии дорог и позволяют дать точную характеристику существующих транспортных и пешеходных потоков. Натурные исследования заключаются в фиксации конкретных условий и показателей дорожного движения, происходящего в течение определенного периода времени.

На практике, чаще всего возникает необходимость в получении данных об интенсивности транспортных потоков. Типичной задачей является так же определение продолжительности задержек транспортных средств на пересечениях. Очереди автомобилей

образуются при повышении плотности потока автомобилей на подходе к пересечению в результате поступления потока машин, превышающего его пропускную способность из-за увеличения потока или снижения пропускной способности улицы в сечении «стоп-линии».

При изучении условий движения на пересечениях города Бишкек, проведение экспериментальных исследований велось по следующей методике: для проведения экспериментальных исследований определяем, прежде всего, цель исследования. В данном случае нас интересует процесс образования транспортных заторов и пути их устранения. Прежде всего определяем основные факторы, влияющие на образование транспортных пробок на пересечениях. При проведении исследований режимы работы светофорных объектов считаем постоянными  $T_{ц} = const$ , как фактор, не влияющий на образование пробок, также допускаем, что в процессе проведения экспериментальных исследований влияние таких причин как ДТП, случайно припаркованные на проезжей части дороги автомобили отсутствуют. Скоростные характеристики транспортных средств то же считаем соответствующими правилам дорожного движения.

В итоге основным фактором образования транспортных заторов на пересечениях остается интенсивность транспортных средств  $N$ , количество полос движения  $n$  и направления движения транспортных потоков.

Для подбора места проведения эксперимента проведен анализ УДС г. Бишкек и выявлены наиболее сложные пересечения. В данной работе рассматривалось пересечение улиц Асаналиева – Л. Толстого, условия движения на котором на наш взгляд являются весьма сложными и где транспортные заторы – частое явление.

Пересечение улиц Асаналиева – Л. Толстого – в одном уровне, на нем установлено двухфазное светофорное регулирование движения. Время горения зеленого сигнала в каждой фазе составляет примерно 30 сек. Проезжая часть пересекающихся улиц состоит из двух полос в каждом направлении. Фактически же, из-за высокой интенсивности транспортные средства на данном участке движутся в три ряда по всем направлениям движения, как на трехполосной дороге. Поэтому результаты наблюдений фиксировались как движение на трехполосной дороге (в каждом направлении, Рис.1.).

Для выявления причин образования транспортных заторов на пересечении проводился подсчет машин. Общее количество задействованных счетчиков - 12 (двенадцать). Места наблюдений показаны на Рис. 1. Счетчиками проводилось фиксирование следующих данных:  $N_{непр.}$  - количество автомобилей, не проехавших при зеленом сигнале  $T_{ц.з.}$  светофора и находящихся в ожидании проезда при красном сигнале светофора  $T_{ц.кр.}$ ;  $N_{доп.}$  - количество автомобилей, подъезжающих к пересечению при красном сигнале светофора  $T_{ц.кр.}$ ;  $N_{доп.1}$  - количество автомобилей, подъезжающих к пересечению с начала включения зеленого сигнала  $T_{ц.з.}$  и  $N_{пр.}$  - количество автомобилей проехавших через «стоп» линии при зеленом сигнале светофора  $T_{ц.з.}$

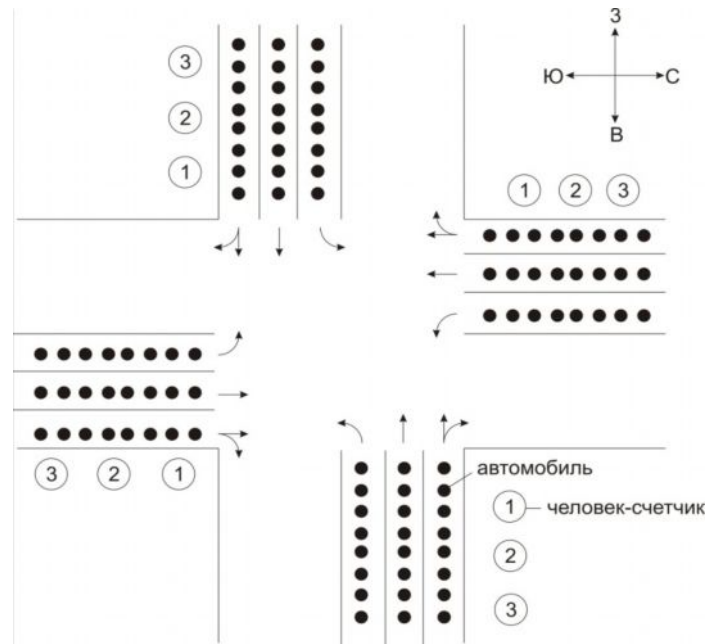


Рис.1. Схема проведения эксперимента на пересечении улиц Асаналиева – Л.Толстого

Наблюдения проводились в течение недели в часы пик - утреннее время от 7-45 до 8-30, дневное время от 12-00 до 13-00 и вечернее время от 16-45 до 17-30. Всего проведено 21 наблюдение. Результаты (среднеарифметические) наблюдений отражены в табл.1.

Таблица 1 - Результаты наблюдений за условиями движения на пересечении улиц Асаналиева – Толстого

1 цикл							2 цикл						
$T_{ц.з.}$ сек	$N_{пр.}$ ед.авт.	$N_{доп.}$ ед.авт.	$N_{непр.}$ ед.авт.	$N_{общ.}$ ед.авт.	$N_{доп.1}$ ед.авт.	$N_{общ.1}$ ед.авт.	$T_{2ц.з.}$ сек	$N_{пр.2}$ ед.авт.	$N_{2непр.}$ ед.авт.	$T_{2ц.кр.}$ сек	$N_{2доп.}$ ед.авт.	$N_{общ.2}$ ед.авт.	$N_{3непр.}$ ед.авт.
30	23	21	19	40	12	52	30	23	29	30	33	62	39

Наша задача изучить процесс образования транспортных заторов и определить пути их устранения. Как указывалось ранее, основным фактором образования транспортных заторов на пересечениях считаем интенсивность транспортных средств  $N$ , количество полос движения  $n$  и направления движения транспортных потоков.

Как видно из таблицы 1. в первом цикле в течение зеленой фазы светофора через «стоп» линию не успели проехать 19 автомобилей -  $N_{непр.}=19$  авт. Во время горения красного сигнала  $T_{ц.кр.}=30$  сек. к перекрестку прибыли  $N_{доп.}=21$  авт., и в итоге в момент начала загорания зеленого сигнала  $T_{ц.з.}$  общее количество транспортных средств  $N_{общ.}$ , находящихся в ожидании зеленого сигнала светофорного объекта составило

$$N_{общ.} = N_{непр.} + N_{доп.} = 19 + 21 = 40 \text{ авт.} \quad (1)$$

С начала горения зеленого сигнала  $T_{ц.з.}$  количество пребывающих к пересечению транспортных средств  $N_{доп}$  в среднем составило

$$N_{доп1} = 12 \text{ авт}$$

$$\text{Тогда, } N_{общ1} = N_{непр.} + N_{доп1} = 40 + 12 = 52 \text{ авт.} \quad (2)$$

Согласно наблюдениям и расчету, в среднем за промежуток времени  $t=1,3$  с, через стоп-линию проходит одна машина, за время горения зеленого сигнала  $T_{2ц.з.}=30$  сек, в среднем проходит  $N_{пр2}=23$  авт и при включении красного сигнала светофора  $T_{2ц.кр.}$  количество машин, не прошедших через «стоп» линию составляет

$$N_{2непр.} = N_{общ1} - N_{пр2} = 52 - 23 = 29 \text{ авт.} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{За время } T_{2ц.кр.} \text{ к перекрестку дополнительно прибыли } N_{2доп.} &= 33 \text{ автомобиля.} \\ N_{общ2} = N_{2непр.} + N_{2доп.} &= 29 + 33 = 62 \text{ авт.} \quad (4) \end{aligned}$$

В третьем цикле, во время горения зеленого сигнала светофора  $T_{3ц.з.}$  через перекресток проходит  $N_{3пр}=23$  авт, тогда

$$N_{3непр} = N_{общ2} - N_{3пр} = 62 - 23 = 39 \text{ авт.} \quad (5)$$

То есть, во втором цикле во время горения зеленого сигнала светофора  $T_{2ц.з.}$  через «стоп» линию не проехали  $N_{пр2} = 29$  авт., а при третьем включении зеленого сигнала светофора через «стоп» линию не проехали  $N_{3непр} = 39$  авт. в виде таблицы эти данные можно представить следующим образом (табл. 2.).

Таблица 2 - Рост очереди автомобилей на пересечении при трех полосах движения в сечении «стоп»

$T_{ц.з.}$	30	30	30
$N_{непр}$	19	29	39

Как следует из данных табл. 2, при одинаковой продолжительности горения зеленого сигнала светофора количество не проезжающих пересечение машин растет, соответственно образуются заторы транспортных средств. Средняя интенсивность движения по трем полосам составляет  $N_{ср} = 2500$  авт/час. Так как время проезда одной машины по одной полосе движения составляет  $t=1,3$  с, то в среднем по каждой полосе при разрешающем сигнале светофора проезжает  $N=8$  авт.

Исходя из полученных данных, с целью уменьшения очереди автомобилей, с учетом данных  $N$ ,  $N_{пр}$ ,  $N_{доп1}$ ,  $N_{2доп}$  для теоретического анализа вводим четвертую полосу движения, т.е.  $n=4$ .

Результат расчета разъезда очереди автомобилей при  $n = 4$  выглядит следующим образом (табл.3):

Таблица 3 - Рост очереди автомобилей на пересечении при четырех полосах движения в сечении «стоп»

$T'_{ц.з.}$	30	30	30
	11	13	15

Как видно из представленной таблицы, при введении дополнительной полосы, очередь автомобилей в створе стоп – линии резко уменьшается и в течение часа пик увеличение затора будет не значительно.

Полученные результаты графически выглядят следующим образом

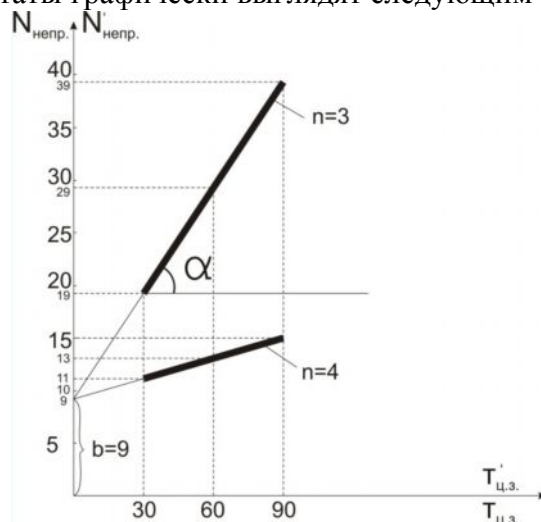


Рис.2. График зависимости образования пробок, где  $T_{ц.з.}$  – время зеленого сигнала светофора;  $N_{непр}$  – количество не прошедших транспортных средств в момент включения красного сигнала светофора  $T_{ц.кр}$ ;  $n$  – количество полос движения в сечении «стоп».

Эмпирическая зависимость представляет собой уравнение прямой, и выглядит следующим образом:

$$N_{\text{пр.}} = 1/3 T_{\text{ц.}} + 9 \quad (6)$$

$$y = b + kx \quad (7)$$

где  $k$  – угловой коэффициент (тангенс угла наклона прямой с осью  $x$ ).

$$k = \frac{y-b}{x} \quad (8)$$

В данном случае:

$$(9)$$

$b$  – ордината точки пересечения прямой с осью  $y$ .

Зная, что при трехполосном движении за один цикл  $T_{\text{ц.з}} = 30$  сек. проезжают 23 автомобиля, соответственно в среднем через каждую полосу проезжают  $N_{\text{авт.}}$ :

$$N_{\text{авт.}} = N_{\text{пр.}} / n = 23/3 = 7,6 = 8 \text{ авт.} \quad (11)$$

где  $n$  – количество полос движения,  $N_{\text{пр.}}$  – количество проезжающих автомобилей за  $T_{\text{ц.з}} = 30$  сек.

При  $n=4$ , количество автомобилей  $N_{\text{пр.з.}}$  составляет:

$$N_{\text{пр.з.}} = N_{\text{пр.}} + N_{\text{авт.}} = 23 + 8 = 31 \text{ авт.} \quad (12)$$

Тогда, с наблюдаемой ранее интенсивностью транспортных средств общая картина на пересечении, будет выглядеть следующим образом:

В первом цикле через «стоп» линию ( ) при включении красного сигнала светофора не успевает проехать:

$$= N_{\text{непр.}} - N_{\text{пр.з.}} = 19 - 8 = 11 \text{ авт} \quad (13)$$

Как и в предыдущем цикле, за  $T_{\text{ц.кр.}} = 30$  сек. количество прибывающих машин  $N_{\text{доп.}}$  = 21 авт. и в момент включения зеленого сигнала светофора  $T_{\text{ц.з}}$  общее количество транспортных средств ожидающих зеленого сигнала светофора составляет:

$$= + = 11+21=32 \text{ авт.} \quad (14)$$

С момента включения зеленого сигнала  $T'_{\text{ц.з.}}$  количество прибывающих к пересечению транспортных средств в среднем составляет  $N'_{\text{доп.1}} = 12$  авт. Тогда:

$$N'_{\text{общ.1}} = + N'_{\text{доп.1}} = 32+12 = 44 \text{ авт.} \quad (15)$$

При включении красного сигнала светофора  $T'_{2\text{ц.кр.}}$  количество не прошедших машин через «стоп» линии составляет:

$$= N'_{\text{общ.1}} - N_{\text{пр.з.}} = 44-31=13 \text{ авт} \quad (16)$$

где  $N_{\text{пр.з.}}$  – количество проезжающих транспортных средств за  $T_{\text{ц.з.}} = 30$  сек., при  $n=4$

За время  $T'_{2\text{ц.кр.}}$  количество машин, прибывающих к пересечению = 33 авт.:

$$N'_{\text{общ.2}} = + = 13+33 = 46 \text{ авт.} \quad (17)$$

В третьем цикле, т.е. при загорании зеленого сигнала светофора  $T'_{3\text{ц.з.}}$  дополнительно пребывает также как и в предыдущем цикле = 12 авт. Тогда:

$$= N'_{\text{общ.2}} - N_{\text{пр.з.}} = 46 - 31 = 15 \text{ авт.} \quad (18)$$

Полученные результаты графически выглядит следующим образом (Рис.2. при  $n=4$ ), где  $n$  – количество полос.

Исходя из полученного графика согласно методике вывода эмпирического уравнения, получим:

$$N_{\text{непр.}} = 1/15 T_{\text{ц.}} + 9 \quad (19)$$

что характеризует уравнение прямой типа (8) с угловым коэффициентом:

$$(20)$$

транспортные средства тангенс угла наклона прямой с осью  $T_{\text{ц.з.}}$ .

Приведенный на Рис. 2. график дает возможность определить условия предотвращения заторов на регулируемых пересечениях улиц города. Из графика видно, что чем больше полос движения  $n$  в сечении «стоп», тем соответственно выше пропускная

способность и в результате сокращается количество машин, не проезжающих за время горения зеленого сигнала светофора  $N_{\text{непр}}$ .

Согласно частному случаю, свойственному уравнению прямой из курса математики при  $\alpha=0$ , т.е.  $k=\text{tg}\alpha=0$  или  $k = \frac{y-b}{x} = 0$  уравнение (19) имеет вид  $y = b$  или для нашего случая  $v = 9$ , т.е. данная зависимость характеризует постоянство  $N_{\text{непр}}$ , при котором прямая линия будет параллельно оси  $OT_{\text{цз}}$ .

Полученные нами графики и зависимости также подтверждают, что коэффициент  $k$  при  $n = 3$  был равен  $k = \frac{1}{3}$ , а при  $n = 4$  уменьшился до  $k = \frac{1}{15}$ , соответственно  $k$  стремится нулю или к условию (19). В итоге мы получаем, что при увеличении числа полос движения  $n$  в створе стоп-линии, угловой коэффициент или тангенс угла наклона  $\alpha$  стремится к нулю.

Основной вывод можно сформулировать следующим образом: при угловом коэффициенте  $k=0$  количество не прошедших через перекресток машин  $N_{\text{непр}}$  равно  $v = 9$ , при этом предпосылки к образованию пробок отсутствуют. Из графика видно, что при количестве полос  $n = 4$ , число автомобилей  $N_{\text{непр}}$ , способных создать пробку, равно  $N_{\text{непр}} = 6$  авт. Это означает, что по окончании горения зеленого сигнала светофора, из стоящих автомобилей, накопившихся при красном сигнале светофора и пребывающих в процессе горения зеленого сигнала  $T_{\text{цз}}$  транспортных средств, не успевают проехать через пересечение  $N_{\text{непр}} = 6$  авт.

Предлагаемая методика позволяет определить потребность полос движения для предотвращения транспортных пробок. В то же время, в условиях сложившейся застройки не всегда имеются возможности расширения улично-дорожной сети. Но, если будет известно требуемое количество дополнительных полос движения для ликвидации пробок, необходимо найти альтернативные улицы, расположенные параллельно данной улице или рассмотреть возможность уширения проезжей части в створе «стоп-линии».

Такого рода явления, как необходимость введения дополнительной полосы, часто встречается в городских условиях, где имеются преграды, такие как железные дороги, водные каналы, ограничивающие проезд транспортных средств по альтернативной полосе. Решение задач такого рода можно объяснить следующей схемой (рис.3):

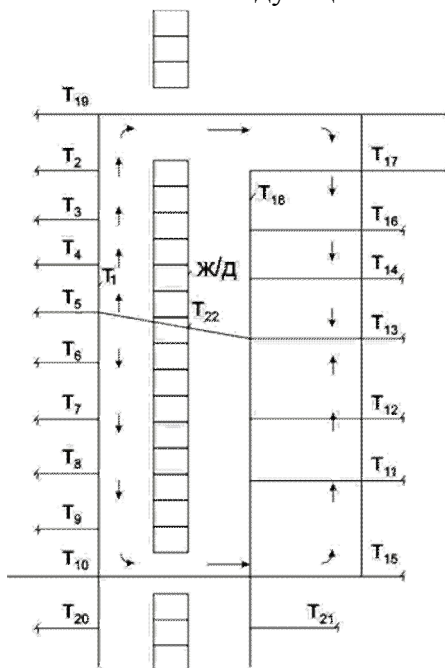


Рис.3. Примерная улично-дорожная сеть:  $T_1, T_2, \dots, T_n$  - улицы.

Как видно из схемы, подъехать к точке А, находящейся на улице  $T_{13}$ , с улицы  $T_5, T_6, T_7, T_8, T_9, T_{10}$  водители транспортных средств могут только по единственному маршруту через улицы  $T_1, T_{10}, T_{15}$  и соответственно водители транспортных средств, находящиеся на другой акватории улиц  $T_{10}$  и  $T_1$  и желающие подъехать к точке А, также подъезжают к

пересечению улиц  $T_1$  и  $T_{10}$ , в результате на данном пересечении образуются транспортные заторы, практически равные на всех направлениях движения. Данные заторы можно разгрузить путем ввода дополнительных полос движения или организации дополнительного переезда через железную дорогу (показано пунктирной линией  $T_{22}$ ) количественно равного числу дополнительных полос  $n$  полученных по предлагаемой методике.

Таким образом, полученный график дает возможность определить условия предотвращения заторов на регулируемых пересечениях улиц города. По графику видно, что чем больше полос движения  $n$ , тем соответственно выше пропускная способность. По результатам наблюдений и расчетов видно, что при введении дополнительной полосы очередь автомобилей в створе стоп – линии резко уменьшается и в течение часа пика увеличение затора будет не значительно.

### Список литературы

1. Макарова И.В. Применение современных методов оптимизации транспортной системы в условиях роста автомобилизации [Электронный ресурс] / И.В.Макарова // под ред. Я. А. Полонского /// Инновации в науке, № 13-1, 2012. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sovremennyh-metodov-optimizatsii-transportnoy-sistemy-v-usloviyah-rosta-avtomobilizatsii>
2. Донченко В. Транспортная политика и проблемы устойчивого развития [Электронный ресурс] / В.Донченко // Режим доступа: <http://www.omnibus.ru/technology/technology1/>
3. Клишковштейн Г.И. Организация дорожного движения [Текст] / Г.И. Клишковштейн. - М.: Транспорт, 2002. - 240 с.
4. Ерошевский М.И. Магистрالی скоростного и непрерывного движения в городах [Текст] / М.И. Ерошевский. – М.: Стройиздат, 1967. - 296 с.
5. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Дорожный\\_затор](http://ru.wikipedia.org/wiki/Дорожный_затор).