

ИЗУЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА МЕТОДАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

Л.Н.СТАСЕНКО, А.К.СУРАПОВ
[E.mail. ksucta@elcat.kg](mailto:ksucta@elcat.kg)

Транспорттук агымдарды изилдөөдө математикалык ыкмаларда колдонуу алардын көп өзгөчөлүктөрүн көрсөтүүгө мүмкүнчүлүк түзөт. Бул беренде бир деңгээлдеги кесилиштерде унаа агымдарынын шарттарын кыймылды уюштурууда иш-чараларды иштеп чыгууда математикалык моделди тургузуу, анын касиеттерин окуп үйрөнүү жана келип чыккан мыйзам ченемдиктерди колдонуу.

Использование математических методов в изучении транспортных потоков позволяет выявить их многие особенности. В статье рассматриваются изучение условий движения транспортных потоков на пересечениях в одном уровне посредством построения математической модели, изучение ее свойств и использование выявленных закономерностей при разработке мероприятий по организации движения.

Use of the mathematical methods at study of traffic flows reveals its many features. The article deals with the study of the traffic flow at level crossings by constructing mathematical model of its properties and use patterns identified in the development of traffic activities.

Основным показателем эффективности управления транспортными и пешеходными потоками на улично-дорожной сети городов является пропускная способность как самой сети, так и ее отдельных элементов.

Условия дорожного движения по стране и, в частности, по городу Бишкек постоянно усложняются в связи с постоянным ростом автотранспортных перевозок. За последние годы на улицах и дорогах резко увеличилась интенсивность транспортных потоков, в то время как пропускная способность улично-дорожной сети остается на прежнем уровне, и в результате значительно возросли нагрузки на подвижной состав и дороги.

На улицах города Бишкек интенсивность движения транспортных средств близка к их пропускной способности, а в часы «пик» даже превышает ее. Сложившаяся диспропорция между темпами развития улично-дорожной сети и темпами роста автотранспорта является одной из существенных причин высокого уровня аварийности в городе, она также приводит к ухудшению условий движения, заторам, росту задержек и увеличению расхода топлива, ухудшению экологической обстановки, социальному дискомфорту.

Движение транспортных потоков по улично-дорожной сети города сопровождается появлением конфликтных ситуаций, нарушениями правил движения, особенно на пересечениях в одном уровне, Это увеличивает вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий. Эксплуатационные показатели любого транспорта в таких условиях снижаются, увеличивается экономический ущерб.

Для разработки и проведения эффективных мероприятий по улучшению условий движения на всей улично-дорожной сети или отдельных ее участках необходимо, прежде всего, выявить особенности транспортных потоков. Изучение закономерностей, определяющих пропускную способность отдельных участков улично-дорожной сети,

связано с исследованием движения автомобилей, включающим построение математической модели, изучение ее свойств и перенос выявленных закономерностей на моделируемую систему. Сущность построения модели состоит в том, что реальная система упрощается, схематизируется и описывается с помощью математического аппарата.

При оценке пропускной способности большое значение имеет взаимосвязь отдельных параметров транспортного потока. Выявить их особенности позволяет использование математических моделей. Большую часть моделей, описывающих движение потока транспорта, можно разделить на две группы [2]:

- детерминированные, или динамические модели;
- стохастические вероятностные модели.

Детерминированная модель позволяет точно рассчитать, что произойдет при изменении одной из переменных с другой величиной. Посредством моделей этой группы изучается взаимодействие между автомобилями в отдельных элементах плотных транспортных потоков и распространение полученных результатов на движение всего потока.

С помощью моделей второй группы изучаются закономерности движения относительно свободных потоков, где возможна определенная свобода маневрирования автомобилей. Применение вероятностных моделей дает хорошие результаты для описания движения транспортного потока интенсивностью до 500 авт./ч.

Пропускная способность городской улицы определяется пропускной способностью «узких мест», к которым относятся регулируемые пересечения в одном уровне, ограничивающие возможности пропуска транспортных потоков в связи с необходимостью обеспечения движения по конфликтующим направлениям. Известно, что пропускная способность регулируемых пересечений городских улиц определяется планировочным решением, способами организации движения и структурой светофорного цикла. Линии «стоп», определяющие крайнее положение транспорта при запрещающем сигнале светофора, рассматриваются как границы регулируемого перекрестка. Определив пропускную способность каждой входящей в узел улицы в сечении «стоп-линии» и просуммировав полученные значения, мы получим пропускную способность узла в целом:

$$N_Y = \sum_{i=1}^d N_{\tilde{N}E},$$

(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 каждой из пересекающихся улиц в сечении «стоп-линия» $N_{сл}$ зависит:

- от числа полос движения проезжей части;
- от принятого режима регулирования движения на пересечении, прежде всего от отношения продолжительности разрешающего сигнала светофора к общей длительности светофорного цикла;
- от реакции водителя при трогании автомобиля с места для въезда на перекресток;
- от величины временных интервалов между автомобилями, проходящими перекресток, и времени движения транспорта через перекресток при его освобождении.

Наблюдения за условиями движения на городских регулируемых пересечениях, проведенные при большой плотности движения, которая имеет место на магистральных улицах в часы «пик», показывают, что практически все автомобили, движущиеся через пересечения, задерживаются перед светофором. Время, необходимое для пропуска очереди задержанных светофором автомобилей, для таких потоков превышает продолжительность разрешающего сигнала, поэтому имеют место повторные задержки транспорта. Пропускная способность проезжей части в сечении «стоп-линия» в это время

используется полностью. Водитель первого из находящихся в очереди автомобилей в подобных условиях готовится к движению в течение желтой фазы, предшествующей разрешающему сигналу. В результате чего автомобили, стоящие непосредственно перед «стоп-линией», пересекают ее в момент включения зеленого сигнала. То есть можно считать, что при движении автомобилей в условиях высокой интенсивности продолжительность горения зеленого сигнала светофора используется полностью. В данном случае пропускную способность одной полосы проезжей части в сечении «стоп-линия» можно определить по формуле

$$N_c = \frac{3600t_c}{t_l \dot{O}_o} = 3600 \frac{t}{t_l}, \quad (2)$$

где t_3 – продолжительность зеленой фазы, с; t_n – средний временной интервал между автомобилями при пересечении ими «стоп-линий», с; T_n – продолжительность цикла регулирования, с; t – фазовый коэффициент, представляющий собой отношение продолжительности зеленого сигнала светофора к общей длительности цикла, величина которого является определяющей пропускную способность пересечения в сечении «стоп-линий». Формула для расчета величины фазового коэффициента имеет вид:

$$t = \frac{t_c}{T_o}. \quad (3)$$

На условия движения на городских регулируемых пересечениях в одном уровне оказывает влияние интенсивность движения транспорта, приходящаяся на одну полосу, или так называемая удельная интенсивность движения. Величина, которой характеризуют, в частности, время, необходимое потоку транспортных средств с интенсивностью движения N_a для прохождения зоны перекрестка при наличии нескольких полос движения. От соотношения удельной интенсивности движения на пересекающихся направлениях зависит величина фазового коэффициента

$$t = \kappa \frac{u_1}{u_2}, \quad (4)$$

где u_1 и u_2 – удельные интенсивности движения на пересекающихся направлениях.

Величина удельной интенсивности движения характеризует, в частности, время, которое необходимо потоку транспортных средств с интенсивностью движения N для прохождения зоны перекрестка при наличии нескольких полос движения.

Величиной, обратной интенсивности движения, является временной интервал между следующими друг за другом по одной полосе транспортными средствами t_n .

Как во времени, так и по расстоянию интервалы являются характеристиками, от которых зависит пропускная способность полосы движения. Интервал между двумя движущимися попутно в колонне автомобилями изменяется в зависимости от состава, тормозных качеств автомобилей, скорости движения, коэффициента сцепления дорожного покрытия и определяется по формуле

$$L = g t + \frac{g^2}{2g(\varphi \pm i)} + l + s, \quad (5)$$

где g – скорость движения автомобилей, м/с; t – время реакции водителя (зависит от квалификации и состояния водителя); g – ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; φ – коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием, изменяющийся в зависимости от

состояния покрытия от 0,8 до 0,1; i – продольный уклон, принимаемый при движении на подъеме со знаком плюс, а при движении на спуске – со знаком минус; l – длина автомобиля; s – безопасное расстояние между автомобилями.

Соответственно, формулу для расчета временного интервала между автомобилями можно представить следующим образом:

$$t_I = \left(vt + \frac{v^2}{2g(\varphi \pm i)} + l + s \right) / v.$$

(6)

При изучении условий движения на пересечениях города Бишкек получены следующие средние значения временных интервалов для смешанного насыщенного транспортного потока автомобилей (легковые автомобили составляют от 78 до 88 % от общего состава):

– прямое направление движения – $t_n = 2,0-2,5$ с;

– крайняя правая полоса – прямое направление совмещено с правоповоротным движением $t_n = 4,0 - 5,0$ с.

После подстановки значения временного интервала в формулу расчета пропускной способности полосы движения в сечении «стоп-линия» получаем:

$$N_c = \frac{3600tv}{vt + \frac{v^2}{2g(\varphi \pm i)} + l + a}.$$

(7)

Пропускная способность всей проезжей части в сечении «стоп-линия» определяется по формуле

$$N_{\tilde{E}} = K_E N_N (n-1),$$

(8)

где $K_n > 1$ – коэффициент, учитывающий количество автомобилей, поворачивающих влево по специально выделенной полосе; N_c – пропускная способность одной полосы проезжей части в сечении «стоп-линий», ед./ч; n – общее количество полос проезжей части, из которого вычитается одна полоса, предназначенная для левых поворотов.

Вышеприведенная формула справедлива при расчете пропускной способности на обычном перекрестке при двухтактном регулировании, где использование полос проезжей части в сечении «стоп-линий» выглядит следующим образом: крайняя левая полоса – левые повороты; крайняя правая полоса – правые повороты и прямое движение; средние полосы – прямое движение.

После преобразования формула расчета пропускной способности пересечения в целом (1) имеет вид:

$$N_Y = \sum_{i=1}^d \frac{3600tvK_E (n-1)}{vt + \frac{v^2}{2g(\varphi \pm i)} + l + a} = \sum_{i=1}^d \frac{3600tvK_E (n-1)}{[2g(\varphi \pm i)](vt + l + a) + v^2} = \sum_{i=1}^d \frac{[3600tvK_E (n-1)]2g(\varphi \pm i)}{[2g(\varphi \pm i)](vt + l + a) + v^2}.$$

(9)

Для создания наиболее целесообразного режима движения на регулируемом пересечении для пропуска насыщенных транспортных потоков необходимо установить оптимальную величину фазового коэффициента t , наиболее соответствующую соотношению удельных интенсивностей движения на пересекающихся направлениях, при котором пропускная способность на пересечении достигнет максимальных значений, для чего дифференцированием определим максимальное значение пропускной способности транспортного узла.

Используя формулы (7) и (9), получим дифференциал по dt :

$$\frac{dN_Y}{dt} = \sum_{n=1}^d \frac{[3600vK_E(n-1)2g(\varphi \pm i)][(2g(\varphi \pm i))(vt+l+a)+v^2] - [2g(\varphi \pm i)v[3600vK_E(n-1)2g(\varphi \pm i)]}{([2g(\varphi \pm i)(vt+l+a)+v^2])^2}.$$

(10)

Результат расчета, проведенного по формуле (3.10) с использованием программы Excel, показал, что при отделении правоповоротного потока от прямого (устройство кармашка) с введением дополнительной секции светофорного объекта пропускная способность транспортного узла возрастает в 1,36 раза ($6335,5 : 4674,5 = 1,36$).

Список литературы

1. Самойлов Д.С., Юдин В.А., Рушевский П.В. Организация и безопасность городского движения. – М.: Высш. школа, 1981. – 256 с.
2. Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов. – М.: Высшая школа, 1985. – 239 с.