

УДК 625.72:656.11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕНИ ПРОЕЗДА ПЕРЕКРЕСТКА ОТ ВЕЛИЧИНЫ ОЧЕРЕДИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ПАРАМЕТРОВ ДОРОЖНОЙ СЕТИ

А.И. Левтеров, профессор, к.т.н., А.Н. Ярута, аспирант, ХНАДУ

Аннотация. Сформулированы основные зависимости и проведена оценка соотношения параметров сегмента дорожной сети и параметров транспортных потоков на регулируемом перекрестке.

Ключевые слова: транспортная сеть, мониторинг транспортных потоков, управление движением.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЧАСУ ПРОЇЗДУ ПЕРЕХРЕСТЯ ВІД ВЕЛИЧИННИ ЧЕРГИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ПАРАМЕТРІВ ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

А.І. Левтеров, професор, к.т.н., А.М. Ярута, аспірант, ХНАДУ

Анотація. Сформульовано основні залежності та проведена оцінка співвідношення параметрів сегмента дорожньої мережі та параметрів транспортних потоків на регульованому перехресті.

Ключові слова: транспортна мережа, моніторинг транспортних потоків, управління рухом.

DETERMINATION OF INTERSECTION CROSSING TIME DEPENDENCE FROM THE AMOUNT OF VEHICLES AND ROAD NET PARAMETERS

A. Levterov, Professor, Candidate of Technical Science, A. Yaruta, postgraduate, KhNAHU

Abstract. The main dependences are expounded. The estimation of correlation of the road net and transport flows parameters segment at the regulated intersection is carried out.

Key words: road net, transports flows monitoring, traffic control.

Введение

Для многофункциональной автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУД) требуется информация о плотности, интенсивности, скорости транспортных потоков, загруженности сегментов дорожной сети, а также взаимосвязи этих параметров. В связи с этим необходимо провести оценку соотношений параметров сегментов дорожной сети в условиях неопределенности, для сети датчиков при мониторинге параметров транспортных потоков. Эту задачу решает интеллектуальная транспортная система (ИТС).

Для построения АСУД по принципам ИТС требуется исследование возможности опти-

мального построения трех ее составляющих частей: информационной системы (ИС), вычислительного центра (ВЦ), маршрутизации и сети передачи данных между ВЦ и пользователями. Приведенные сведения по ИТС и характеристикам транспортных потоков не в полной мере отражают зависимости пропускной способности от параметров сегмента сети и режимов светофорного регулирования.

Рассмотрим регулируемый перекресток, для которого необходимо определить влияние очереди перед светофором на его пропускную способность и на время проезда в зависимости от длины очереди транспортных средств (ТС), способных въехать и проехать

сегмент за время разрешающего сигнала светофора.

Анализ публикаций

Известно большое количество работ, посвященных разработке ИТС. Так, например, в работе [1] было рассмотрено влияние интеллектуальных систем на фундаментальные характеристики транспортных потоков, а в [2, 3] рассмотрены основные принципы для построения централизованного оптимального управления движением. Влияние мощностных характеристик автомобиля и дороги на изменение времени проезда регулируемого перекрестка рассмотрено в работе [4].

Цель и постановка задачи

Рассмотрим факторы, воздействующие на величину ускорения ТС: мощностные характеристики автомобиля, сопротивление дороги, коэффициент учета вращающихся масс[2]. Величину среднего ускорения j в нашем случае определяют для первых 3-х передач из уравнения

$$j_{\text{ср}} = \frac{j_1 + j_2 + j_3}{3} \tag{1}$$

Если бы не было очереди, то время необходимое для проезда перекрестка ТС, на разрешенный сигнал светофора определялось бы из формулы

$$t_{\text{пр}} = \frac{l_{ij}}{V_{\delta}} \tag{2}$$

где V_{δ} – разрешенная скорость автомобиля; l_{ij} – длина перекрестка.

Время проезда пути ТС максимальной длины очереди $n_{ij\text{max}}$, которую он успеет проехать, равно времени разрешающего светофора и времени необходимого для завершения маневра T_{ij3}

$$T_{ij3} = n_{ij\text{max}} t_1 + t_{\text{пр}} \tag{3}$$

где t_1 – задержка старта очередного ТС, $t_{\text{пр}}$ – время проезда ТС из очереди; $n_{ij\text{max}}$ – максимальная длина очереди.

При этом после каждого старта ТС его время проезда $t_{\text{пр}}$ зависит от его очередности $n_{ij\text{max}}$ и от расстояния до выезда из перекрестка.

Исходя из усредненного ускорения, можем определить время необходимое для проезда перекрестка с учетом положения автомобиля перед перекрестком

$$t_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{(l_M + \Delta l_{\text{ст}}) n_{ij\text{max}}}{j_{\text{ср}}}} = B \sqrt{n_{ij\text{max}}} \tag{4}$$

где $B = \sqrt{\frac{(l_M + \Delta l_{\text{ст}})}{j_{\text{ср}}}}$, $A = \sqrt{n_{ij\text{max}}}$; $\Delta l_{\text{ст}}$ – расстояние между автомобилями в очереди.

Основной целью исследования является определение зависимости времени проезда перекрестка от размера очереди и ускорения ТС.

Решение задачи

Для определения зависимости подставим формулу (4) в формулу (3), получим

$$T_{ij3} = n_{ij\text{max}} t_1 + B \sqrt{n_{ij\text{max}}} = A^2 t_1 + BA \tag{5}$$

Определим максимальное число ТС в очереди, которое успевает проехать на разрешающий сигнал светофора и покинуть перекресток с учетом времени проезда ТС и всей очереди. Для этого используем квадратное уравнение (4) в формуле (6)

$$t_1 A^2 + BA - T_{ij3} = 0 \tag{6}$$

Из квадратного уравнения (6) определяется максимально число ТС (длины очереди $n_{ij\text{max}}$), которые проедут перекресток. Разрешим уравнение (7) относительно параметра A . Тогда

$$A = \frac{\sqrt{B^2 + 4T_{ij3}t_1} - B}{2t_1}$$

Оценим параметры $B, n_{ij\text{max}}$, исходя из реальных данных. Известно, что среднее ускорение для легкового автомобиля находится в

пределах $j_{cp} \approx 1,7 - 2,4$ м/с². Для грузовых же ТС ускорение ниже, чем у легкового автомобиля, но находится в том же пределе. Отсюда следует, что $4T_{ij3}t_1 \gg B$. Поэтому

$$A = \frac{\sqrt{T_{ij3}t_1} \sqrt{1 + \frac{B^2}{4T_{ij3}t_1}} - B}{t_1} = \quad (7)$$

$$= \sqrt{\frac{T_{ij3}}{t_1}} \left(1 + \frac{B^2}{8T_{ij3}t_1} \right) - \frac{B}{2t_1}.$$

Таким образом, максимальное число

$$n_{ij\max} = \left(\sqrt{\frac{T_{ij3}}{t_1}} - \frac{B}{2t_1} \right)^2. \quad (8)$$

ТС из очереди, которые может проехать сегмент сети за один цикл светофора, равно

$$n_{ij\max} \approx \sqrt{\frac{T_{ij3}}{t_1}}. \quad (9)$$

Если число ТС, стоящих в очереди перед светофором, меньше максимального числа $n_{ij\max}$ и равно n_{ij} , то время проезда сегмента сети статическими ТС (из очереди) равно

$$t_{ijCT} = n_{ij}t_1 + B\sqrt{n_{ij}}, \quad (10)$$

где $n_{ijcm} \leq n_{ij\max}, t_{ijcm} \leq T_{ij3}$. (11)

Время проезда сегмента последним ТС из очереди представляет собой нелинейную функцию от размера очереди, но ввиду малости параметра B – почти линейную зависимость.

Если выполняется условие (11), то появляется интервал времени

$$\Delta t_{ij\partial} = T_{ij3} - n_{ij}t_1 - B\sqrt{n_{ij}}, \quad (12)$$

в течение которого могут проехать сегмент динамические ТС. Однако, динамические ТС могут проехать сегмент, если длина их проезда за это время $V_p \Delta t_{ij\partial}$ значительно больше длины сегмента l_{ij} . Таким образом, число динамических ТС, успевающих проехать сегмент при условии (11), равно

$$n_{ij\partial} = \frac{V_p (T_{ij3} - n_{ij}t_1 - \hat{A}\sqrt{n_{ij}}) - l_{ij}}{l_i + \Delta l_a}. \quad (13)$$

Зависимость числа динамических ТС от длины очереди также нелинейная, но вполне допускает линейную аппроксимацию с точностью, примерно 15%. Максимальное число d динамических ТС, проезжающих сегмент, можно определить из выражения (13) при $n_{ij}=0$. Тогда

$$d = \frac{V_p T_{ij3} - l_{ij}}{l_i + \Delta l_a}. \quad (14)$$

При некотором, критическом, значении размера очереди n_{ijkp} число динамических ТС равно нулю. Из условия равенства нулю выражения (13) получим квадратное уравнение (15)

$$t_1 \tilde{N}^2 + \hat{A} \tilde{N} - \frac{V_p T_{ij3} - l_{ij}}{l_i + \Delta l_a} \cdot \frac{l_i + \Delta l_a}{V_p} = 0, \quad (15)$$

где $C^2 = n_{ijkp}$ – критический (для динамических ТС) размер очереди.

С учетом (14) уравнение упростится

$$t_1 C^2 + BC - t_2 d = 0,$$

где $t_2 = \frac{l_m + \Delta l_d}{B}$;

Решением является выражение

$$C = \sqrt{\frac{t_2 d}{t_1} \left(1 + \frac{B^2}{8t_1 t_2 d} \right)} - \frac{B}{2t_1} \quad (16)$$

или $C \approx \sqrt{\frac{t_2 d}{t_1}} - \frac{B}{2t_1}$. (17)

Поскольку число динамических ТС есть величина случайная с вероятностью разрешенного сигнала светофора на входе сегмента равной $\frac{1}{2}$, то средние по вероятности значения максимального и критического числа динамических ТС будут соответственно вдвое меньше. На рис. 1 представлен в линейном приближении характер зависимости суммарной пропускной способности (ломаная fag) сегмента сети от числа ТС в очереди.

Заданное время разрешенного сигнала светофора на входе сегмента еще не гарантирует высокую пропускную способность сегмента при загрузке перекрестка, меньшей n_{ijkp} .

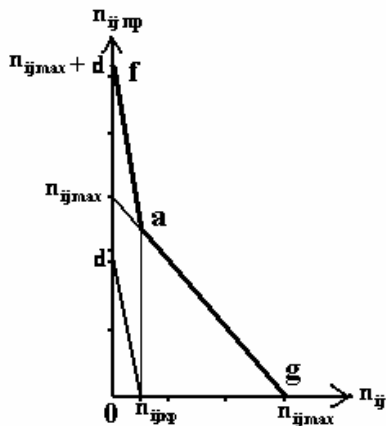


Рис. 1. Зависимость количества проехавших ТС от длины очереди за один цикл

Поэтому менять параметры сегмента для увеличения параметра n_{ijkp} для многофункциональной централизованной системы управления движением в дорожной сети нецелесообразно в режиме большой загруженности перекрестка. При малой загруженности перекрестка, меньшей критической, целесообразность работы централизованной системы управления уменьшается, так как гарантированной пропускной способности также достаточно. Гарантированным уровнем пропускной способности может служить только такой параметр перекрестка, как величина n_{ijmax} . Поэтому гарантированным временем проезда отдельного ТС с номером очереди $n_{ij} < n_{ijmax}$ на каждом перекрестке является время, равное $t_{ijст}$ (10) плюс время красного и желтого сигнала светофора. При большой очереди, значительно превышающей n_{ijmax} , гарантированное время проезда перекрестка определяется следующим образом

$$t_{ijгпр} = \frac{n_{ij} \varepsilon}{n_{ijmax}} T_{ijз} + t_{ijст} \quad (18)$$

Таким образом, пропускная способность ребра или пересечения зависит от количества ТС стоящих в очереди, параметров ребра, режима перекрестка и состава транспортного потока.

Параметры сегмента и режима перекрестка могут быть рассчитаны заранее, а число ТС и состав в очереди следует определять специальными датчиками загруженности перекрестков.

Выводы

Для многофункциональной централизованной системы управления дорожным движением в городах и регионах получены соотношения для расчета и прогнозирования следующих параметров сегментов и режимов регулированных перекрестков:

- прогнозируемое время проезда сегмента дорожной сети, зависящее от результатов измерения состава очереди;
- зависимость полной пропускной способности сегмента за один цикл для статических и динамических ТС от результатов измерений состава очереди;
- приближенные канонические соотношения и оценка их точности.

Литература

1. Косолапов А.В. Влияние интеллектуальных транспортных систем на фундаментальные характеристики транспортных потоков / А.В. Косолапов // Кузбасский государственный технический университет. – Кемерово, 2010.
2. Алешин Г.В. Дорожно-сетевая система информирования водителей об оптимальных маршрутах движения / Г.В. Алешин, В.Г. Сословский, А.Н. Ярута // сб. матеріалів всеукраїнської науково-методичної конференції. – Харьков: ХНАДУ, 2007. – С. 102–114.
3. Альошин Г.В. Принципи побудови центрального багатопільового оптимального регулювання рухом транспортних засобів у містах та регіонах / Г.В. Альошин, А.М. Ярута / «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»: наук.-техн. журнал. – 2008. – № 5-6. – С. 31–36.
4. Кленников В.М. Теория и конструкция автомобиля / В.М. Кленников, Е.В. Кленников, 1967. – С. 36–42.

Рецензент: О.П. Алексеев, профессор, д.т.н. ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 26 сентября 2011 г.