

УДК 338.364; 656.056.4

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДЕРЖЕК НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ

**О.В. Денисенко, доцент, к.т.н., А.И. Левтеров, профессор, к.т.н.,  
А.Н. Гунбина, ассистент, ХНАДУ**

***Аннотация.** Рассмотрен новый подход к определению транспортных задержек на регулируемом перекрестке. Предлагается область перекрестка одновременно пошагово сканировать двумя узконаправленными лазерными лучами инфракрасного диапазона на всех подходах и выходах перекрестка.*

***Ключевые слова:** транспортный поток, транспортное средство, сканирование, лазерный луч, задержка, инфракрасный диапазон.*

## СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАТРИМОК НА РЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ

**О.В. Денисенко, доцент, к.т.н., А.И. Левтеров, профессор, к.т.н.,  
А.М. Гунбина, ассистент, ХНАДУ**

***Анотація.** Розглянуто новий підхід до визначення транспортних затримок на регульованому перехресті. Передбачається область перехрестя одночасно покровоно сканувати двома вузьконаправленими лазерними променями інфрачервоного діапазону на всіх підходах і виходах перехрестя.*

***Ключові слова:** транспортний потік, транспортний засіб, сканування, лазерний промінь, затримка, інфрачервоний діапазон.*

## METHOD FOR DETERMINING THE TRANSPORT DELAYS ON CONTROLLED JUNCTIONS

**O. Denysenko, associate professor, cand. eng. sc., A. Levterov, professor, cand. eng. sc.,  
A. Gunbina, assistant, KhNAHU**

***Abstract.** A new approach to the definition of transport delays on a regulated junctions is considered. It is proposed to simultaneously and periodically scan the area of junction by two narrow laser infrared beams at all the approaches to the junction.*

***Key words:** transport flow, vehicle, scanning, laser beam, infrared range delay.*

### Введение

Организация дорожного движения (ОДД) в больших городах выступает в роли единственного средства решения транспортных проблем при уже сложившейся архитектурно - дорожной инфраструктуре и в связи с отсутствием возможности расширения проезжей части улично-дорожной сети (УДС).

### Анализ публикаций

Реализация мероприятий по ОДД не может обойтись без применения технических средств, одними из которых являются средства светофорного регулирования и обеспечивающие их эффективное применение современные детекторы транспорта [1].

Уровень обслуживания регулируемого перекрестка определяется с помощью величины задержки транспортных средств (ТС), увеличение которой приводит к снижению пропускной способности сети и чрезмерному расходу топлива. Задержка определяется рядом факторов, связанных с топографическими особенностями перекрестка, режимом регулирования, интенсивностью прибытия ТС на перекресток и др.

Величина задержки определяется, как разница времени при сравнении движения ТС через регулируемый перекресток в реальных условиях и свободного движения на этом же участке без влияния светофорного регулирования на транспортный поток (ТП).

Существует ряд методик и способов для определения транспортных задержек на регулируемом перекрестке, однако все они не обладают высокой точности их определения и не дают принципиальной возможности использовать этот параметр для оценки и регулирования светофорной сигнализации в реальном масштабе времени [1].

#### Цель и постановка задачи

Целью является разработать способ, дающий возможность значительно повысить точность определения средней задержки ТС и может быть использован для одновременного определения основных параметров ТП: момента проезда ТС контролируемой зоны (КЗ) и перекрестка в целом, скорости, типа и направления движения ТС, их интенсивности движения по каждой полосе за любой промежуток времени, а также интервалов движения ТС по каждой полосе регулируемого перекрестка.

#### Способ определения транспортных задержек на регулируемом перекрестке

Суть предлагаемого способа заключается в том, что область перекрестка одновременно пошагово сканируют двумя узконаправленными лазерными лучами инфракрасного диапазона на всех подходах и выходов перекрестка, что дает возможность сформировать входные и выходные границы КЗ и обеспечить определение комплекса вышеуказанных параметров ТП по каждой полосе движения в зависимости от результатов сканирования.

На рис.1 представлена схема, которая раскрывает основные особенности предлагаемого способа [2].

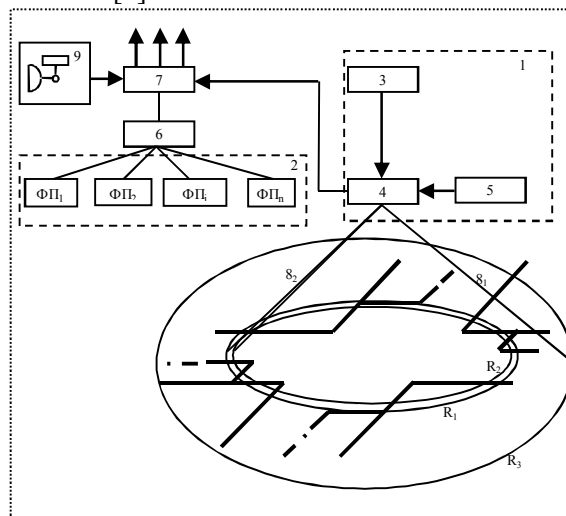


Рис.1 Структурная схема устройства, реализующая предложенный способ

Согласно предложенному способу развертка лазерного луча осуществляется сканирующим блоком 1, который располагается над перекрестком на специальном кронштейне в точке, соответствующей геометрическому центру перекрестка. Сканирующий блок 1 состоит из излучателя 3 узконаправленного лазерного луча, узла развертки 4 и оптического отклоняющего устройства (дискретный сканистор) 5, которые формируют двулучевое  $\delta_1$  и  $\delta_2$  сканирование зоны перекрестка и обеспечивают отклонение оси обоих лучей в необходимые положения по заданным программам.

В сканирующем блоке 1 в зависимости от высоты его размещения, одну из оптических осей развертки подбирают так, чтобы первый лазерный луч описывал конусную поверхность с окружностью на проезжей части перекрестка с радиусом  $R_1$  в области «стоп-линий» всех его подходов. Дискретный сканистор 5 обеспечивает отклонение оси первого лазерного луча в необходимое второе положение, при котором радиус окружности ( $R_2$ ) на поверхности проезжей части уменьшается на заданную величину (например, на 1м). Таким образом, блок сканирования на каждом следующем периоде сканирования меняет развертку первого лазерного луча с одной оптической оси на другую и описывает в зоне «стоп-линий» на поверхности перекрестка две концентрические окружности с разницей радиусов ( $R_1 - R_2 = 1\text{м}$ ) и формирует выходную границу КЗ.

Второй оптический луч лазерной развертки формируется в одной плоскости с первым, но со смещением на  $180^\circ$  по кругу развертки и определяет входную границу КЗ (радиус  $R_3$ ).

Оптические фотоприемники 2 (ФП<sub>і</sub>) в процессе развертки лазерных лучей по одной из окружностей на входе и выходе КЗ последовательно воспринимают сигналы, отраженные от ТС, движущихся по разным полосам движения как на подходах, так и на выходах перекрестка.

Преобразователь 6 сигналов каждого ФП<sub>і</sub> соответствующей полосы движения преобразует их в импульсно-цифровые коды, которые вводятся в вычислительное устройство 7, где далее определяются все вышеперечисленные параметры любого промежутка времени или за время действия цикла светофорного регулирования, информация о котором может поступать в вычислительное устройство 7 со светофорного объекта 9.

Фиксацию ТС, въезжающих в КЗ и выезжающих из нее осуществляют по их задним бамперам, при этом реальное число ТС в КЗ и суммарную транспортную задержку накапливают с высокой частотой на каждом периоде сканирования развертывающего устройства, при этом среднюю транспортную задержку ТС по полосе и по перекрестку, в целом, определяют по числу ТС, которые реально выехали из КЗ, за период измерений.

Фиксация ТС, въезжающих в КЗ регулируемого перекрестка, происходит с задержкой, равной среднему времени проезда соответствующего типа ТС, что стало возможным благодаря периодическому сканированию с изменением оптической оси лазерного луча в зоне «стоп-линий» перекрестка. При этом, поочередное сканирование с высокой скоростью изменения радиусов сканирования (с  $R_1$  на  $R_2$  и наоборот) за время  $T_c$  сканирования позволяет точно определить время перемещений ТС на дистанции ( $R_1 - R_2$ ) и скорости  $V_{cp}$  их движения в зоне «стоп-линий», что определяется выражением (1):

$$V_{cp} = (R_2 - R_1) / (n - 1) \cdot T_c, \quad (1)$$

затем последовательно определяют длину  $L_{ТЗ}$  ТС:

$$L_{ТЗ} = V_{cp} \cdot n \cdot T_c - (R_2 - R_1), \quad (2)$$

их тип, направления и интервалы их движения, а также длину очереди ТС в КЗ по каждой полосе за любое фиксированное значение времени.

Это позволяет повысить точность определения транспортных задержек за счет учета среднего времени приезда КЗ каждым конкретным типом ТС.

Суммарная транспортная задержка  $T_j$  пребывания ТС в КЗ по каждому  $j$ -й полосе движения накапливается на каждом периоде  $\Delta t$  сканирования и за время измерения  $T_B$  определяется как:

$$T_j = \Delta t \cdot \sum_{i=1}^k n_{cm} - \sum_{l=1}^b t_l, \quad (3)$$

где:  $k$  - число периодов сканирования за время измерения, равное  $k = T_B / \Delta t$ ;  $n_{cm}$  - длина текущей очереди ТС по  $j$ -й полосе движения;  $T_B$  - период определения транспортной задержки (время измерения);  $t_l$  - среднее время приезда КЗ каждым конкретным  $l$ -м типом ТС, за время измерения  $T_B$  полностью покинул КЗ.

Затем, определяют транспортную задержку  $T_{Пj}$  проезда каждым типом ТС зоны самого перекрестка по  $j$ -й полосе движения (от окружности сканирования с  $R_1$  на входе перекрестка до окружности с  $R_2$  на его выходе), как разность между реальным временем проезда  $t_p$  и средним временем проезда  $\overline{t_{П}}$  зоны перекрестка  $l$ -м типом ТС в заданном направлении:

$$T_{Пj} = \sum_{l=1}^b (t_p - \overline{t_{П}})_l. \quad (4)$$

Если разница  $(t_p - \overline{t_{П}})_l \geq 0$ , ее учитывают в общей составляющей  $T_{Пj}$ , в противном случае - при  $(t_p - \overline{t_{П}})_l \leq 0$  эта составляющая не учитывается.

Реальное время проезда зоны перекрестка каждым ТС фиксируется по моментам пересечения их задних бамперов указанных границ зоны перекрестка, причем время проезда определяется с высокой точностью с дискретностью периода сканирования одновременно по всем полосам на подходах к перекрестку.

Общая задержка ТС по  $j$  – й полосе движения за выбранное время  $T_B$  определяется как сумма:

$$T_{\Sigma j} = T_j + T_{IIj}. \quad (5)$$

А средняя задержка  $\bar{t}_j$  для  $j$  – той полосы движения за время измерения  $T_B$ , или, например, за каждый цикл светофорного регулирования  $T_{II}$  определяется:

$$\bar{t}_j = \frac{T_{\Sigma j}}{n_{npj}}. \quad (6)$$

Затем по результатам измерения средних задержек ТС по каждой полосе движения на всех подходах к перекрестку определяют среднюю транспортную задержку  $\bar{t}_{II\Sigma}$  для всего перекрестка:

$$\bar{t}_{II\Sigma} = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{t}_j n_{npj}}{\sum_{j=1}^m n_{npj}}, \quad (7)$$

где:  $n_{npj}$  – число ТС, которые полностью переехали выходную границу КЗ;  $j$  – той полосы движения за время  $T_B$ ;  $m$  – число полос движения на подходах к перекрестку.

Определение текущей очереди ТС по каждой полосе в КЗ осуществляется суммированием числа ТС, въезжающих в КЗ, с задержкой, равной среднему времени проезда каждым конкретным видом транспорта КЗ и уменьшением полученной суммы на единицу при выезде ТС с КЗ этой полосы. Причем фиксация типа ТС осуществляется на выходе из КЗ, а моменты входа в КЗ и выхода ТС из нее определяются по их задним бамперам.

Такой подход в определении транспортной задержки в зоне всего перекрестка (от входа в КЗ на подходе к перекрестку ( $R_3$ ) до одной из окружностей развертки ( $R_1$ ) на выходе с перекрестка) позволяет учесть задержки отдельных ТС в зоне самого перекрестка, связанные с ожиданием проезда налево при наличии прямых встречных ТС, и при поворотах направо для пропуска пешеходных потоков или вообще при низкой скорости пересечения перекрестка отдельными ТС.

Кроме того, наличие двойного сканирования ( $R_1, R_2$ ) на выходе с перекрестка дает возможность определить тип ТС на выходе с перекрестка, а значит и направление их движения, и, таким образом, при известных значениях среднего времени проезда различных типов ТС в разных направлениях точно учесть их задержки при пересечении зоны перекрестка. Все это – позволяет существенно повысить точность определения транспортной задержки на регулируемом перекрестке.

Высокая частота сканирования и определенные значения задержки для ТС, ожидающих в КЗ разрешающего сигнала светофора после каждого периода сканирования, позволяет оценить среднюю задержку ТС по каждой полосе и на подходах в целом, что дает возможность оценить качество управления светофорной сигнализацией по отдельным фазам регулирования и за цикл в реальном масштабе времени.

### Выводы

Таким образом, предложенный способ дает возможность получения наиболее полного комплекса информации для контроля и дальнейшего оперативного (в реальном масштабе времени) управления движением на перекрестке и может быть использован при разработке агрегатной системы средств управления ДР, АСУ–ДР, в системах информационного обеспечения загрузки перекрестков ВДМ, а также для повышения эффективности управления движением транспорта на регулируемых перекрестках.

### Литература

1. Левашев А.Г. Михайлов А.Ю. Головных И.М. Проектирование регулируемых перекрестков: Учеб. пособие - Иркутск: Изд - во ИрГТУ, 2007. - 208с.
2. Левтеров А.И., Денисенко О.В. Устройство для определения транспортных задержек на регулируемом перекрестке. Патент на изобретение Украина, Бюл. № 5, 10.03.2015.

Рецензент: Е.В. Нагорный, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редколлегию 1.10.2015 р.