

## ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ УКАЗАТЕЛЕЙ СКОРОСТИ

**Навой Д.В.**

**Рожанский Д.В.**

*Белорусский национальный технический университет*

---

Электронные указатели переменной рекомендуемой скорости (УСК) – одна из важнейших форм реализации управляющих воздействий, используемых при организации дорожного движения на городских улицах [1]. Информация на УСК носит рекомендательный характер и позволяет донести до участников движения предусмотренный организаторами режим движения. Использование УСК входит в систему информационного обеспечения участников движения и является одновременно эффективным средством управления транспортным потоком.

Недостатком системы управления без УСК является отсутствие обратной связи между системой управления дорожным движением и его участниками. Водители не имеют совершенно никакой информации о режиме движения, что приводит к хаотичности транспортного потока.

Помимо информации о рекомендуемой скорости движения на электронное устройство можно выводить иную информацию, полезную для участников движения, так например, температурный режим, маршрутное ориентирование и т.д.

### *Влияние статуса городской магистрали на применение УСК*

Устройство УСК является одним из параметров информирования участников об условиях и режимах движения. Чрезмерный объем информации отрицательно влияет на ее восприятие. Исходя из этого информацию, воспринимаемую участниками движения следует дифференцировать на обязательную, дополнительную, сопутствующую, вредную. В зависимости от статуса магистрали информация от УСК может быть обязательной и дополнительной. Так, для городских магистралей первого статуса, статус информации от УСК является обязательным, для городских магистралей второго и др. статусов – дополнительной.

Статус и зоны городских улиц предлагается определять следующим образом [1, 2]:

1. Под зоной следует понимать участок улично-дорожной сети города, в которой расположен данный светофорный объект
2. Под статусом следует понимать характеристику узла улично-дорожной сети города в зависимости от нагруженности пересечения:

*1 – магистраль;*

*2 – нагруженная улица;*

*3 – малонагруженная улица;*

*4 – проезд;*

*5 – пешеходный переход.*

Различие между уровнями управления (функционирования) светофорных объектов на локальном уровне обеспечиваются разным набором алгоритмов для трех категорий объектов:

- 1 – ключевые светофорные объекты (статус 1–1, 1–2);
- 2 – обычные светофорные объекты (статус 1–3, 1–4, 1–5, 2–2, 2–3, 2–4, 2–5);
- 3 – второстепенные светофорные объекты (статус 3–3, 3–4, 3–5 и ниже).

Обязательный перечень управляющих воздействий на магистральной городской улице различного статуса определяет количество УСК и информационные технологические параметры привязки реализованных алгоритмов.

#### *Уровни восприятия УСК участниками движения по управляющим воздействиям*

Основные рекомендации по дизайну систем «визуализации» [3, 4] с использованием УСК таковы:

- минимальное количество информации в сечении объекта УДС;
- минимальное количество информации на одном УСК;
- использование символов вместо слов;
- использование информационных тоннелей;
- дублирование и повторение наиболее важной информации о дорожном движении;
- использование цветовых схем и геометрических размеров технических средств организации и регулирования дорожного движения, оказывающих максимальный эффект на восприятие участников движения.

Недостаток УСК – необходимость контроля водителями скорости по спидометру.

Доказано, что 90 % информации, получаемой водителями во время движения, является зрительная информация.

Основные положения визуального функционирования можно разделить на следующие виды:

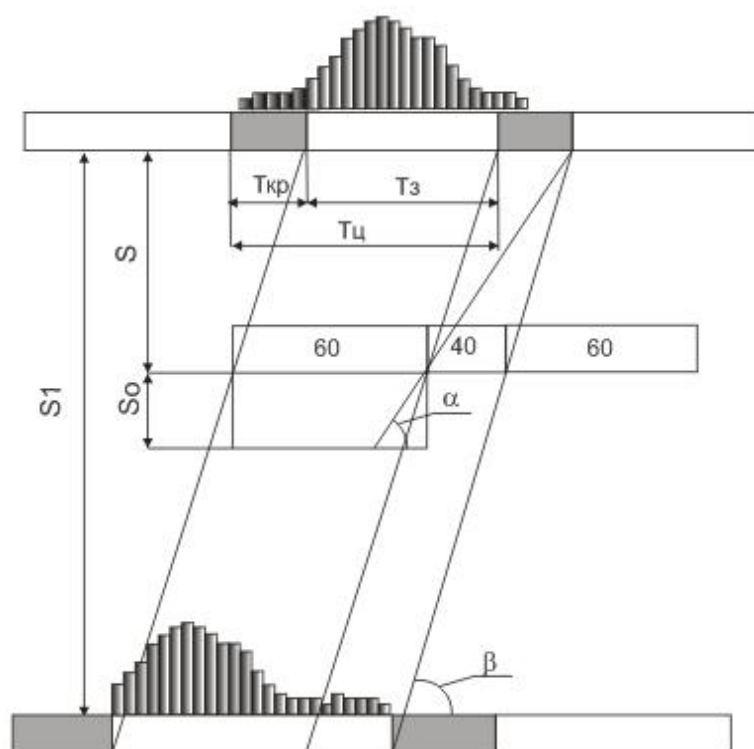
- зрительное восприятие – способность видеть детали объекта наблюдения, что зависит от расстояния от водителя до зрительного объекта;
- периферийное зрение – известно, что неподвижные объекты менее замечаемы периферийным зрением, чем центральным (основным). Некоторые изменения в детектировании динамических режимов также происходят в зависимости от статической видимости;
- зрительная избирательность – некоторые объекты, наблюдаемые водителями, не воспринимаются как важные и игнорируются водителями даже при хорошей видимости и контрастности ;
- контрастная чувствительность – восприятие видимой информации дорожного знака и восприятие символов и фона, на котором они нанесены;
- ночное зрительное восприятие;
- движения глаз и зрительный поиск;

- цветовое восприятие – должно быть достаточно изучено с учетом того, что у 8 % мужчин нарушено цветовое восприятие;
- оценка расстояния до объекта – этот аспект должен быть оптимизирован для исключения недооценки водителями расстояния до объекта;
- ощущение скорости (восприятие процесса движения) – один из важнейших показателей для безопасности движения в транспортном потоке.

*Технологическая привязка УСК в автоматизированной системе управления дорожным движением*

Для каждой магистрали проектируется привязка УСК в зависимости от реализуемого управляющего воздействия.

Пример технологической привязки УСК для двух координируемых объектов приведен на рис. 1.



- $S$  – расстояние от точки установки УСК в сечении дороги до стоп-линии, м;
- $S_1$  – расстояние между регулируемыми пересечениями, м;
- $S_0$  – расстояние, с которого водители начинают воспринимать информацию на УСК и придерживаться рекомендуемой скорости (60÷80 м);
- $T_з$  – продолжительность горения разрешающего сигнала, с;
- $T_{кр}$  – продолжительность горения запрещающего сигнала, с.

**Рисунок 1** – Пример работы УСК на скоординированных светофорных объектах

Алгоритм функционирования УСК для двух регулируемых пересечений таков:

1. Выбирается единое текущее системное время от 1 до  $T_c$ .
2. Задается интервал скоростей от минимальной до максимальной с определенной скоростью (рекомендовано от 40 км/ч до 60 км/ч с шагом 10 км/ч).
3. Проверяется возможность прохождения транспортного потока расстояния  $(S+S_0)$  таким образом, чтобы для текущего времени в сечении УСК выполнялось условие достижения регулируемого пересечения с заранее заданной скоростью на разрешающий сигнал светофора.
4. В случае выполнения условия выводится на табло рекомендуемая скорость, с которой транспортный поток пройдет расстояние  $(S+S_0)$  на разрешающий сигнал светофора.
5. В случае невыполнения условия значение времени, необходимого для проезда участка  $S+S_0$ , увеличивается до тех пор, пока не выполнится условие прохождения на зеленый сигнал.
6. В случае выполнения условия по времени проезда на зеленый сигнал и условия соответствия скорости заданному интервалу скоростей с шагом  $n$ , на УСК выводится расчетная скорость.
7. Далее идет увеличение времени, необходимого для проезда участка  $(S+S_0)$  с учетом шага скоростей до максимального значения скорости, с выводом расчетных скоростей на УСК.

При реализации управления с помощью УСК на магистрали следует рассматривать магистраль как единое целое. Базовый план координации определяет набор скоростей на перегонах. УСК помогает изменить (ускорить или замедлить) скорость движения координированной пачки автомобилей (при этом изменится наклон безостановочного движения). Допустимыми границами изменения скорости являются  $\pm 12\%$ . УСК меняет значения скоростей с дискретностью  $\pm 10$  км/ч. Это вызвано, в том числе, и тем, что цифровая шкала на спидометрах автомобилей наиболее удобочитаема именно при такой градации значений скорости. Могут использоваться варианты, когда скорость переднего фронта координированной пачки остается неизменной, а скорость заднего фронта увеличивается, т.е. происходит постепенное «сжатие» координированной пачки автомобилей в пределах перегона. Это достигается переменной информации на УСК. Алгоритм отслеживает ленту безостановочного движения и задает нужную скорость внутри ленты, для уплотнения либо растягивания «пачки».

#### *Определение мест установки УСК*

Существует три направления в определении места установки УСК:

1. Место установки в зависимости от проектируемых управляющих воздействий (планов координации и т.д.) на магистрали.

Рекомендуется устанавливать УСК на входящих пересечениях магистрали для формирования «пачки» автомобилей, далее идеальным случаем является установка УСК на каждом перегоне между регулируемыми пересечениями и дважды – в случае протяженности перегона более 600 м. В случае отсутствия возможности установки на каждом перегоне предлагается устанавливать УСК в местах, где изменяется скорость транспортного потока в зависимости от реализованного базового плана координации, что определяется в течение проектного цикла создания технологии управления на магистрали

2. Место установки в привязке к участку магистрали в зависимости от качества восприятия. Возможны следующие места установки:

- до регулируемого пересечения в границах перекрестка, в сечении стоп-линии;
- после регулируемого пересечения в границах перекрестка;
- на перегоне между регулируемыми пересечениями, причем следует разделить протяженность перегона на участки. Первый – менее 100м, второй – 100 ÷ 300 м, третий – 300 ÷ 600 м, четвертый – 600 м и более.

3. Место установки в сечении магистрали.

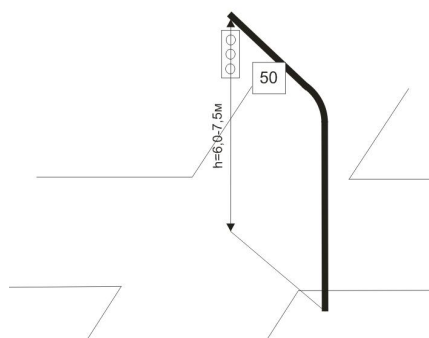


*Рисунок 2 – Схема установки УСК на выносной консоли над трехполосной проезжей частью одного направления*

Основным требованием при выборе места установки в сечении городской улицы является использование информационных туннелей. Высота установки УСК рекомендуется в пределах 6,0 ÷ 7,5 м. Необходимым условием является обеспечение оптимальной видимости для всех водителей, поэтому рекомендуется устанавливать УСК на выносных конструкциях (рис.2) либо фермах таким образом, чтобы указатель скорости находился посередине проезжей части, предназначенной для движения транспортных средств одного регулируемого направления.

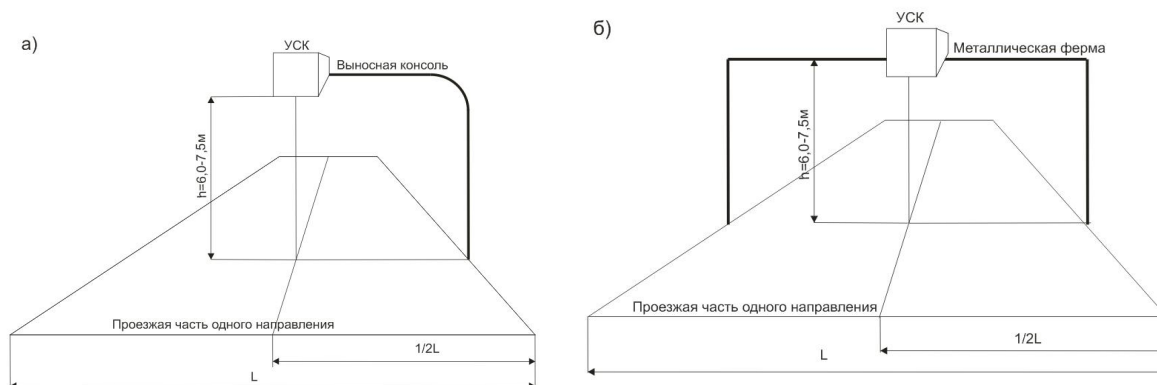
На приведенном рисунке УСК установлен в границах перекрестка и используется совместно с дополнительным светофором. Однако такое размещение УСК нужно использовать только на внутренних перегонах, когда транспортный поток уже получил информацию о режиме движения.

В случае установки УСК на выносной опоре совместно со светофором предлагается использовать нижеприведенную схему.



**Рисунок 3** – Схема установки УСК совместно со светофором с выносом на центр пересечения

Такая схема установки рекомендуется как для входных пересечений магистрали, так и для внутренних. Возможна установка УСК на выносной консоли за пересечением с условием соблюдения принципа оптимальной видимости (рис.4).



а) на выносной консоли; б) на металлической ферме

**Рисунок 4** – Схемы установки УСК

Для перегонов длиной 600 м и более рекомендуется устанавливать дополнительный УСК за 100 м до регулируемого пересечения.

*Определение эффективности использования УСК на городской магистрали*

Существует несколько подходов к описанию движения транспортного потока на перегоне. Рассмотрим следующую макроскопическую модель [5]. задается длительность цикла, а время проезда  $\tau$  любого автомобиля между двумя соседними регулируемыми перекрестками (исключая задержку у перекрестка) принимается имеющим нормальное распределение с плотностью:

$$f(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

где  $\mu$  и  $\sigma^2$  – среднее значение и дисперсия времени проезда автомобилем заданного участка дороги.

Если  $\rho_d(t)$  – интенсивность отправлений на входном пересечении, а  $\rho_a(t)$  – интенсивность потока прибытий на выходном пересечении, то с учетом (1) получаем

$$\rho_a(t) = \int_0^{\infty} \rho_d(t-\tau) \cdot f(\tau) d\tau = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^{\infty} \rho_d(t-\tau) \cdot e^{-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2}} d\tau. \quad (2)$$

Для формулы (1) на показатели  $\mu$  и  $\sigma^2$  влияют различные параметры, причем  $\mu$  и  $\sigma^2$  являются функциями длины участка перегона и влияния рекомендованного режима движения с помощью УСК.

Средняя задержка определяется следующим образом

$$d = \frac{1}{\rho g - r} \int_{-r}^{t_0} Q_r(t) dt - \frac{q_m t_0^2}{2\rho g} = \frac{1}{g - r} \int_{-r}^{t_0} dt \times \sum_{i=-1}^{+1} \left[ P\left(\frac{i+0.5-t-\xi}{\sigma}\right) - P\left(\frac{i-t-\xi}{\sigma}\right) \right] dt - \frac{q_m t_0^2}{2\rho g}, \quad (3)$$

где  $Q_r(t)$  – длина очереди;

$r$  – длительность периода горения красного сигнала;

$\xi$  – время задержки включения зеленого сигнала по отношению к переднему фронту прямоугольной кривой прибытий (эффективный сдвиг);

$\gamma$  – сдвиг по фазе сигналов светофора на соседних объектах;

$q_m$  – пропускная способность дороги;

$t_0$  – момент рассасывания очереди;

$g$  – длительность зеленого сигнала.

Сравнение рассмотренной модели дисперсии с результатами экспериментальных измерений импульсов интенсивности транспортного потока без использования УСК, а затем – с использованием, позволило определить эффективность использования УСК на магистрали.

Параметры эффективности УСК изменялись в зависимости от длины перегона, состава транспортного потока, условий движения и эффективности координированного регулирования. Среднее время проезда по магистрали  $\mu$  существенно не изменилось, но использование УСК в среднем для обобщенных показателей позволило снизить дисперсию транспортного потока и уменьшить задержки на 30 %.

Рассмотрим эффективность управления дорожным движением с позиций анализа показателей дорожного движения и определим показатели дорожного движения как нормируемые в соответствии со статусом объектов управления в трех градациях уровня обслуживания – оптимальной, максимальной, предельно допустимой согласно таблице 1 [5, 6].

Наиболее эффективно использование УСК для уровней обслуживания, В,С – 40 %. Средняя скорость сообщения для этих уровней соответственно 40-48 км/ч и 32-40 км/ч, а коэффициент загрузки 0,5-0,6 и 0,6-0,75 соответственно. Для уровней А, D, E, F эффективность использования УСК снижается до 2 % (уровень F).

Помимо использования УСК в составе базовых расчетных планов координации, а также при оптимизации сдвигов по магистрали в зависимости от параметров транспортных потоков, возможно использовать саму несущую конструкцию УСК для дополнительной информации участникам движения.

**Таблица 1 – Распределение уровней обслуживания по статусам объектов управления**

Статус	Уровень		
	Оптим.	Макс.	Предельно допустим
1	Уровень В	Уровень С	10 % времени на уровне D
2	Уровень В	Уровень С	15 % времени на уровне D
3	Уровень С	Уровень D	10 % времени на уровне E
4	Уровень С	Уровень D	15 % времени на уровне E

Показатели дорожного движения определяются заданными уровнями обслуживания в соответствии с таблицей 2.

**Таблица 2 – Характеристики уровней обслуживания**

Уровень обслуживания	Средняя скорость сообщения, км/ч	Коэфф. загрузки	Количество маневров торможения на 1 км
А	>48	<0.5	0..1
В	40-48	0,5-0,6	1..2
С	32-40	0,6-0,75	2..3,5
D	24-32	0,75-0,85	3,5..6
E	20-24	0,85-0,95	6..10
F	<20	>0,95	>10

Установка датчиков погодных условий и измерение коэффициента сцепления с дорогой, позволяют изменять управляющие воздействия с отправки информации в АСУ ДД и выработкой управленческих решений в зависимости от дорожной обстановки. Возможно использование УСК также и с информацией о маршрутном ориентировании участников движения.



## **Выводы**

В дальнейшем возможна интеграция системы управления УСК и системы соблюдения скорости автомобилем путем ее автоматического контроля без участия водителя. Установленный на автомобиле приемник получает сигнал от УСК о предписанном режиме движения и в автоматизированном режиме ограничивает либо дает рекомендацию о повышении скорости автомобиля. Подобные системы прошли успешные испытания в Западной Европе, однако на настоящий момент не нашли широкого применения на европейских дорогах, т.к. проект имеет ряд недостатков экономического и социального характеров.

## **Литература**

1. Концепция развития автоматизированных систем управления дорожным движением в Республике Беларусь. Д.В. Капский, Е.Н. Кот// Вестник БНТУ – Минск, 5'2005 – С.64-66.
2. Концепция управления дорожным движением в г. Минске – Минск, 2002 г.
3. Martens, M. Driving and Road sign Perception. KFB & VTI research 34a. Swedish road and traffic research institute, Linköping, 2000.
4. Rämä P. Effects of weather-controlled variable message signing on driver behaviour. VTT Publications 447, Technical research centre of Finland, Helsinki 2001.
5. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением. пер. с англ. – М.: Транспорт. 1983. – 248 с.
6. Методические рекомендации по определению критериев эффективности автоматизированной системы управления дорожным движением в г. Минске – Минск: БАЭС, 2004 г.