

УДК 004.04:576.08

## КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА УЧАСТКЕ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Е.В. Кобзарь, ст. преп. А.Н. Полетайкин, ст. преп., Г.В. Шира, студент,  
Донецкая академия автомобильного транспорта

*Аннотация.* Представлена концепция АСУ ДД в условиях проблемного участка транспортной сети г. Донецка. Предложены методы и разработан алгоритм адаптивного управления по социальному и экологическому критериям.

*Ключевые слова:* адаптивное управление, интегральный критерий эффективности, статистическое моделирование, коэффициент загрузки движением, концентрация углекислого газа.

## КОНЦЕПЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ НА ДІЛЯНЦІ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

Є.В. Кобзар, ст. викл., О.М. Полетайкін, ст. викл., Г.В. Шира, студент,  
Донецька академія автомобільного транспорту

*Анотація.* Подано концепцію АСУ ДР в умовах проблемної ділянки транспортної мережі м. Донецька. Запропоновано методи й розроблено алгоритм адаптивного управління за соціальним і екологічним критеріями.

*Ключові слова:* адаптивне управління, інтегральний критерій ефективності, статистичне моделювання, коефіцієнт завантаження рухом, концентрація вуглекислого газу.

## CONCEPTION OF AUTOMATED ROAD TRAFFIC CONTROL SYSTEM ON ROAD NETWORK SECTION

Ye. Kobzar, senior lecturer, A. Polietaykin, senior lecturer, H. Shira, student,  
Donetsk Academy of Automobile Transport

*Abstract.* The concept of automated road traffic control system in Donetsk is presented. The methods and the algorithm of the adaptive control of social and ecological criteria are developed.

*Key words:* adaptive control, integral criterion of efficiency, statistical modeling, coefficient of traffic congestion, concentration of carbon dioxide.

### Введение

Увеличение интенсивности и плотности транспортных потоков на дорогах городов привело к снижению скоростей транспорта, заторам, росту аварийности, ухудшению экологических показателей. В этих условиях возрастает значимость управления дорожным движением. Регулирование дорожного движения с помощью светофоров не является эффективным, например, при высокой динамике интенсивности в течение суток,

возникновении пробок при ДТП и в результате факторов среды, и др. Для таких случаев реализуется адаптивное управление дорожным движением. В [1] показано, что такое управление можно эффективно реализовать с использованием автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУ ДД), осуществляющей контроль и адаптивное управление транспортными потоками на проблемном участке улично-дорожной сети (УДС).

### Постановка задачи и характеристика объекта автоматизации

Назначение АСУ ДД – автоматизация и контроль движения автомобилей внутри УДС города, а также для поддержки принятия решений, осуществления диспетчерского и координированного управления светофорными объектами, контроль их работы, оповещение о возникновении неисправностей и аварийных ситуаций. Согласно [2] объект управления АСУ ДД можно представить в виде четырехкомпонентной системы ВАДС – «Водитель–Автомобиль–Дорога–Среда движения».

На рис.1 представлена характеристика УДС, на котором осуществляется управление дорожным движением. Улично-дорожная сеть обобщенно представляет собой пространственный объект, территориально сегментированный на участки, а участки – на перекрестки и звенья между ними (рис. 1, а).

Перекресток характеризуется его типом, наличием пешеходных, подземных переходов, островка безопасности, установленными ТСОД, наличием и характером регулирования движения, средней задержкой транспортных средств ( $t_{\Delta j}$ ), потерями времени ( $t_c$ ), концентрацией окиси углерода на краю проезжей части (мг/куб.м) ( $C_p$ ).

Основные характеристики ребер: протяженность, количество полос движения ( $\varepsilon$ ), интенсивность движения ( $N$ ), поток насыщения ( $M_H$ ), который был получен в результате использования натуральных исследований, концентрация окиси углерода на краю проезжей части (мг/куб.м) ( $C_p$ ), уровень удобства ( $Z$ ), скорость движения ( $v$ ), пропускная способность ( $P_n$ ), наличие маршрутов общественного транспорта, прилегание особых зон (школы, больницы, различные детские учреждения, структуры повышенной опасности и пр.) Важными характеристиками УДС является тип и качество дорожного покрытия, а также интенсивность движения и поток насыщения, определяемый для каждой полосы. В темное время суток играет важную роль степень освещенности участков УДС. В зимнее время года – защита покрытия от обледенения.

Транспортные средства (ТС) классифицируются и характеризуются определенными эксплуатационными параметрами, из которых определяющими являются следующие: тип ТС, габаритные размеры, тяговые и тормозные качества, тип шин; скоростные режимы, головное освещение, удобство рабочего места водителя, маневренность, курсовая устойчивость, элементы пассивной безопасности, а также показатели надежности ТС и экологические характеристики (выброс выхлопных газов и шумовое загрязнение).

Наиболее неопределенным элементом в системе ВАДС является водитель. Состояние человека подвержено воздействию самых разнообразных факторов: физиологических, эмоциональных, социальных и климатических. Механизм воздействия данных факторов широко изучается соответствующими науками, которыми доказано, что человек и его поведение может быть системно описано посредством вероятностной модели [3].

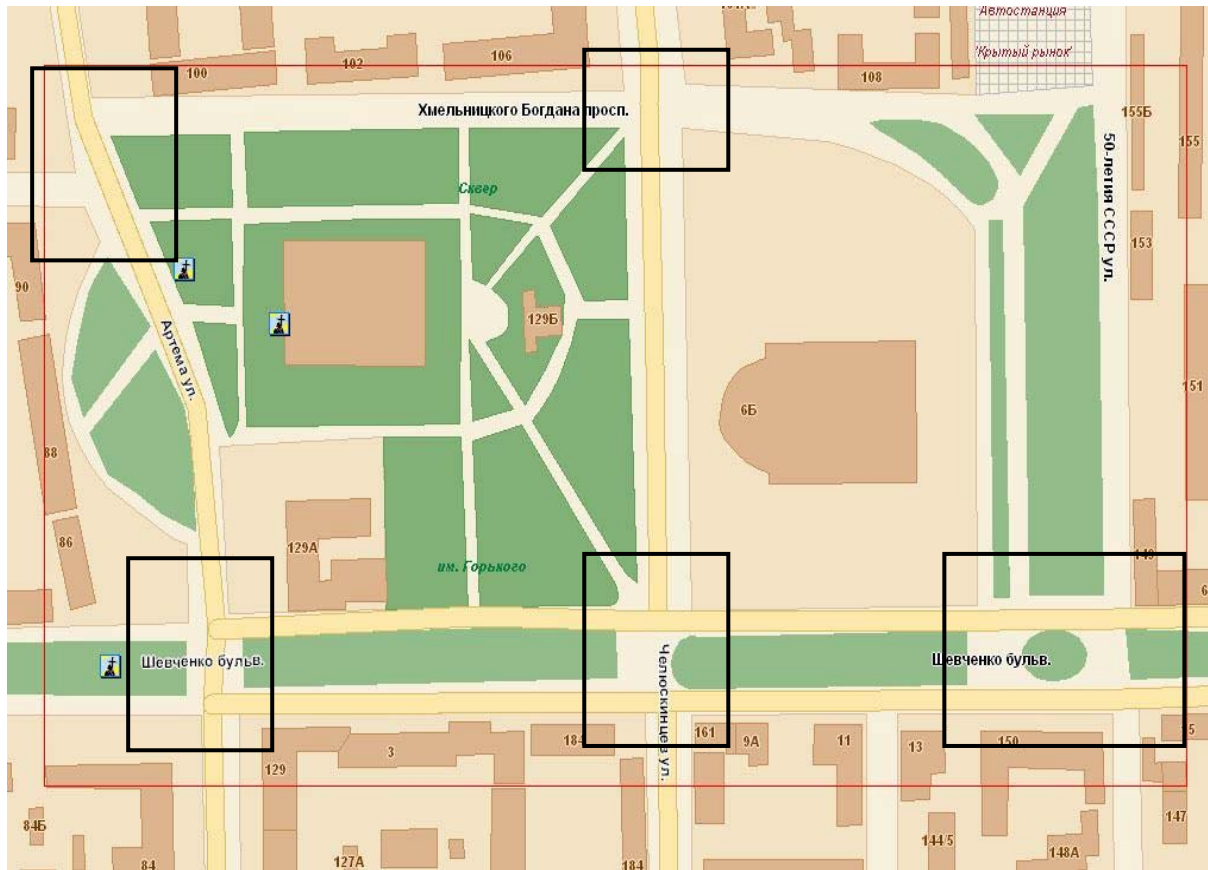
Взаимосвязанные компоненты ВАД функционируют в среде С, которая в данной интерпретации охватывает пешеходов, а также погодноклиматические факторы (метеорологическую видимость, осадки, ветер, температуру воздуха). Среда оказывает воздействие на водителя, автомобиль и дорогу в процессе их взаимодействия.

### Определение критерия эффективности

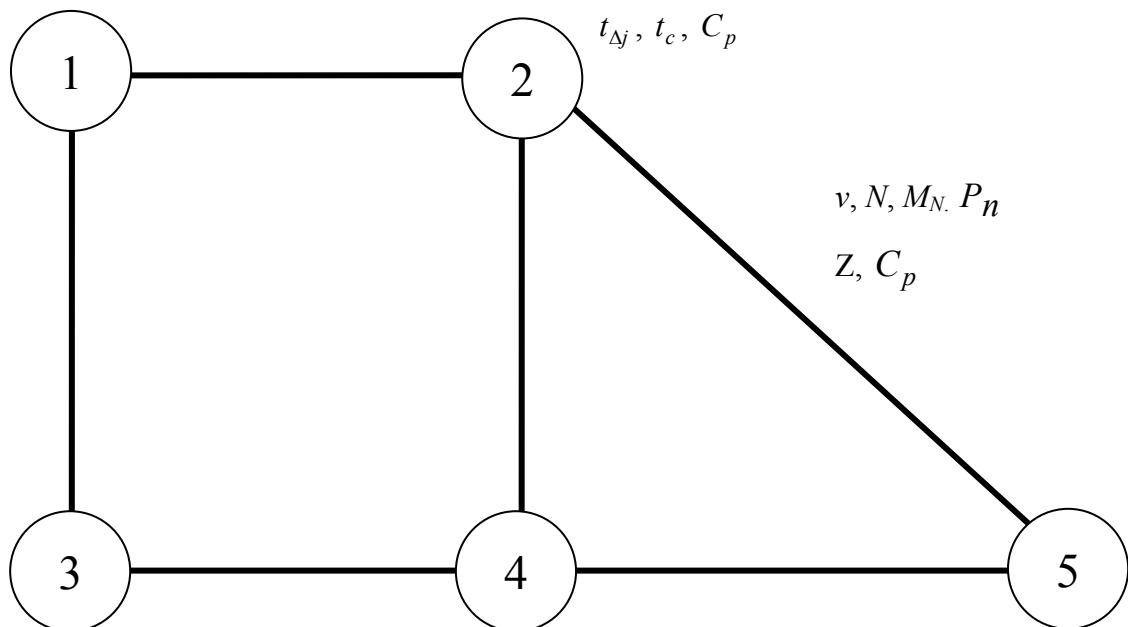
Задержки движения являются показателем, на который должно быть обращено особое внимание при оценке состояния дорожного движения. К задержкам следует относить потери времени на все вынужденные остановки транспортных средств не только перед перекрестками, железнодорожными переездами, при заторах на перегонах, но также из-за снижения скорости транспортного потока по сравнению со сложившейся средней скоростью свободного движения на данном участке дороги [4]. Потери времени  $t_{\Delta}$  (1).

$$t_{\Delta} = \int_{l_1}^{l_2} \left[ \frac{1}{v_f(l)} - \frac{1}{v_p(l)} \right] dl, \quad (1)$$

где  $v_f$  и  $v_p$  – соответственно фактическая и принятая расчетная (или оптимальная) скорости, м/с;  $dl$  – элементарный отрезок дороги, м.



а



б

Рис. 1. Характеристика улично-дорожной сети: а – фрагмент УДС (расположение светофорных объектов обозначено рамкой); б – графовое представление УДС (описание в тексте)

В качестве расчетной скорости для городской магистрали можно принять разрешенный Правилами дорожного движения предел скорости (60 км/ч). Исходными для определения задержки могут быть приняты нормативная скорость сообщения или нормативный темп движения для данного типа дороги, если таковые будут установлены. Так, если на дороге  $v_p = 60$  км/ч, что соответствует темпу движения без задержек 60 с/км, а установленная опытной проверкой скорость  $v_f = 30$  км/ч (темп движения – 120 с/км), то потери времени каждым автомобилем в потоке – 60 с/км. Если длина  $l$  рассматриваемого участка магистрали равна, например, 5 км, условная задержка каждого автомобиля составит 5 мин. Общие потери времени для транспортного потока

$$T_{\Delta} = N_A t_{\Delta} T, \quad (2)$$

где  $t_{\Delta}$  – средняя суммарная задержка одного автомобиля, с;  $T$  – продолжительность наблюдения, ч.

Для минимизации вреда, наносимого окружающей среде, прибегают к массе методов (установка в выхлопной системе автомобилей катализаторов и глушителей, систем дожига несгоревшего топлива). Один из методов уменьшения загрязнения ОС – это оптимизация движения транспортного потока (ТП). Сущность этого метода состоит в таком управлении ТП с помощью светофоров и других технических средств организации дорожного движения (ТСОДД), при котором скорости движения будут приближены к оптимальной (40 км/ч). При этой скорости наблюдается наименьшее загрязнение ОС как токсичными газами, так и шумовыми воздействиями.

Таким образом, можно сформулировать обобщенные показатели эффективности АСУ ДД по двум оцениваемым аспектам: временным и экологическим.

1. Для оценивания на дорогах или отдельных полосах (сегментах) проезжей части имеющегося запаса пропускной способности используется коэффициент загрузки движением  $Z$ , равный отношению существующей интенсивности движения к пропускной способности дороги. Этот коэффициент называют уровнем загрузки дороги (полосы) транспортным потоком и определяют по

формуле (3). Также этот коэффициент определяет четыре уровня удобства движения, из которых приемлемыми являются уровни А и Б.

$$Z = \frac{N}{P}. \quad (3)$$

Здесь:  $N$  – интенсивность движения, авт./ч;  
 $P$  – расчетная ПС дороги, авт./ч.

2. Для получения изменения содержания токсичных газов в окружающей среде используют формулу для определения концентрации окиси углерода на краю проезжей части (мг/куб.м) [2]

$$C_p = \frac{C_0}{\left(V_0 \cdot \frac{H}{30}\right)^3}, \quad (4)$$

где  $V_0$  – скорость ветра на улице (1–10 м/с);  
 $H$  – ширина улицы в линиях регулирования застройки (30–100 м); величина  $C_0$  рассчитывается по формуле (5)

$$C_0 = 7,38 + 0,26N + \sum A. \quad (5)$$

Здесь:  $N$  – интенсивность движения автомобилей в двух направлениях, авт./ч;  
 $\sum A = A_1 + A_2$  – сумма поправок, учитывающих вычисление заданных условий движения от принимаемых:  $A_1$  – изменение количества транспорта от принятого (70 %) на каждые 10 %;  $A_2$  – изменение средней скорости движения от принятого: 40 км/ч.

Коэффициент (3) – безразмерная величина, приемлемые значения которой обычно устанавливаются на уровнях удобства А и Б, что соответствует загрузке  $Z = 0–0,45$ , в то время как плотность (4) – нормативная величина, диапазон приемлемых значений которой существенно зависит от качественных характеристик среды и требует применения методов экспертного оценивания.

Для интегрального оценивания эффективности АСУ ДД обе величины удобно привести к единичному отрезку, для чего величину (4) подвергают нормированию в соответствии с выражением (6)

$$C_p^n = \frac{C_p - C_{p_{\text{НХ}}}}{C_{p_{\text{НЛ}}} - C_{p_{\text{НХ}}}}, \quad (6)$$

где  $C_p$  – действительное (измеренное) значение, а  $C_{p_{\text{НЛ}}}$  и  $C_{p_{\text{НХ}}}$  – наилучшее и наихудшее значения концентрации углекислого газа на данном участке (сегменте) УДС. Диапазон  $[C_{p_{\text{НЛ}}}, C_{p_{\text{НХ}}}]$  может быть расширен до бесконечности при помощи теории возможностей [5].

### Описание функционирования АСУ ДД

Прежде всего, осуществляется обзор текущего состояния участков путем копирования блоков данных с периферийных контроллеров, содержащих текущие и предшествующие показания детекторов, характеризующие состояние объекта. При последующей обработке этих блоков данных определяется система показателей состояния объекта, на основании которой выполняются дальнейшие действия. В случае возникновения существенных перегрузок на участке, что фиксируется в блоках данных периферийных контроллеров, центральная автоматика организует функционирование светофоров таким образом, чтобы обеспечить максимально возможную разгрузку перегруженных участков. С этой целью на основе полученных данных от периферийных контроллеров производится имитационное моделирование различных вариантов организации управления на объекте, из которых по определенному критерию выбирается наилучший вариант.

Одной из важнейших функций АСУ ДД является алгоритмическая обработка полученных данных о состоянии транспортных потоков на объекте и выработка определенного согласованного режима управления сигнализацией на объекте. В качестве исходных данных используются блоки данных о состоянии транспортных потоков. Блок данных сегментирован на структуры, описывающие каждый сегмент УДС в отдельности. В качестве такого сегмента принято считать  $\frac{1}{2}$  часть полосы движения, начиная от перекрестка. Таким образом, на проезжей части с трехполосным двухсторонним движением выделяется 12 сегментов. На каждом сегменте на расстоянии 50 метров друг от друга устанавливаются детекторы присутствия транспорта ультразвукового типа. Структура оперативных

данных о состоянии сегмента выглядит так (табл. 1):

Таблица 1 Структура данных о сегменте УДС

Символическое обозначение	Характеристика
Структура данных уставок	
TrgHiFlow	Уставка критической точки плотности ТП
TargetDelRed	Уставка задержки запрещающего сигнала
TargetDelGreen	Уставка задержки разрешающего сигнала
Delay_Red	Задержка для запрещающего сигнала
Delay_Green	Задержка для разрешающего сигнала
Структура оперативных данных о состоянии сегмента	
Intens_Move	Интенсивность движения транспорта
Velocity_Move	Скорость движения транспорта
Rate_Move	Темп движения транспорта
Flow_Sat	Поток насыщения в сегменте
Flow_Density	Плотность потока транспорта

В зависимости от параметра Flow\_Density движение по степени интенсивности подразделяют на свободное, частично связанное, насыщенное, колонное. Скорость движения является важнейшим показателем, так как представляет целевую функцию дорожного движения. В практике организации движения принято оценивать скорость движения транспортных средств мгновенными ее значениями, зафиксированными в отдельных типичных сечениях (точках) дороги.

Укрупненный алгоритм перераспределения длительности сигналов представлен на рис. 2. Программа производит просмотр блоков данных на предмет выявления сегмента с высокой плотностью ТП. Далее в окрестности найденного перегруженного звена выполняется перераспределение длительности задержки красного и зеленого сигналов пропорционально разности между величинами потока насыщения и интенсивности движения на данном сегменте. После просмотра всех сегментов в УДС сформированный блок данных распределяется на локальные контроллеры.

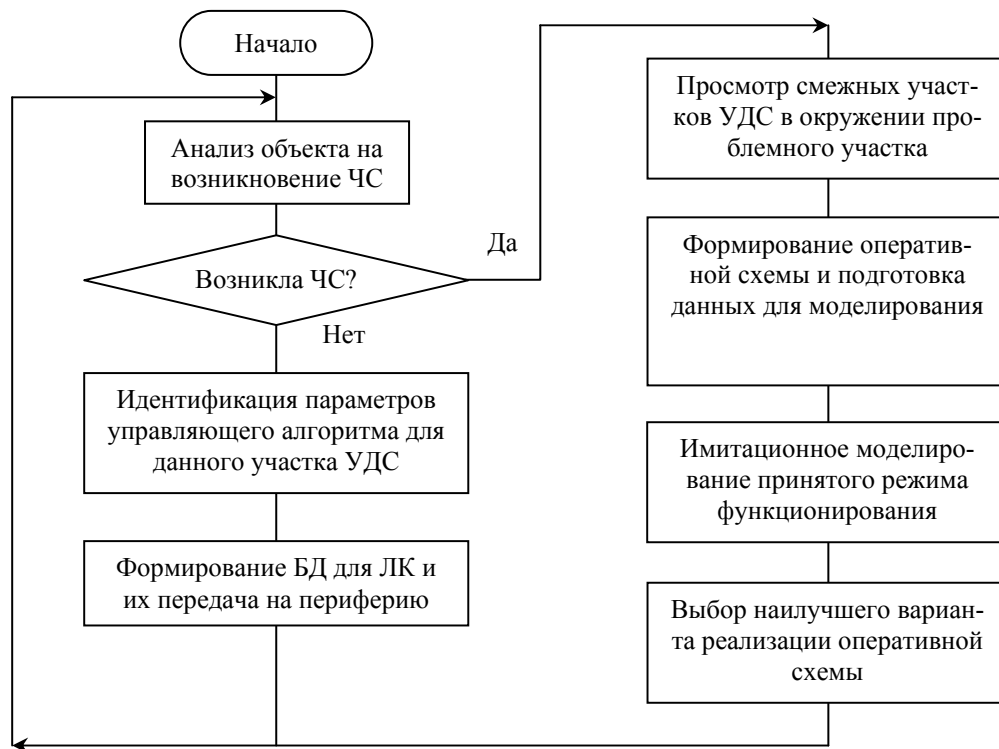


Рис. 2. Блок-схема укрупненного алгоритма функционирования АСУ ДД на участке улично-дорожной сети

Эффективность движения ТС на участке оценивается в соответствии с выражениями (3) и (4). При повышении эффективности эти показатели должны стремиться к нулю. В блок-схемах используются символические обозначения из табл. 1.

### Выводы

1. Сформулирована проблема адаптивного управления дорожным движением на участке улично-дорожной сети.
2. Показана актуальность использования АСУ ДД для эффективного управления дорожным движением, которая базируется на новых научно обоснованных моделях и алгоритмах.
3. Сформулирован критерий оценивания эффективности и выполнено описание функционирования АСУ ДД.

### Литература

1. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения : учеб. для вузов / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1997. – 231 с.
2. Коноплянко В.И. Организация и безопасность дорожного движения : учеб. для вузов / В.И. Коноплянко. – М. : Транспорт, 1991. – 183 с.
3. Бережной Н.М. Человек и его потребности / Н.М. Бережной ; под ред. Я.Е. Львовича. – Воронеж, 1995.
4. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов. – М. : Транспорт, 1997. – 303 с.
5. Искусственный интеллект: в 3 т. Т.2. Модели и методы: справочник ; под ред. Д.А. Поспелова. – М. : Радио и связь, 1990. – 304 с.

Рецензент: Е.М. Гецович, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 24 июня 2011 г.