

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ ПО УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА

Н.С. Чернобаев, ассистент, ХНАДУ

Аннотация. Предложена имитационная модель управления транспортными потоками по улично-дорожной сети мегаполиса.

Ключевые слова: система управления дорожным движением, улично-дорожная сеть, магистраль, транспортный поток, имитационная модель, оптимизация.

ДО ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ ПО ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

М.С. Чернобаєв, асистент, ХНАДУ

Анотація. Запропоновано імітаційну модель управління транспортними потоками по вулично-дорожній мережі мегаполіса.

Ключові слова: система керування дорожнім рухом, вулично-дорожня мережа, магістраль, транспортний потік, імітаційна модель, оптимізація.

TO TRAFFIC MANAGEMENT ON URBAN ROAD NET

N. Chernobaev, assistant, KhNAHU

Abstract. The problem of control parameters calculation of the traffic flows management model at urban road net is considered.

Key words: road traffic management system, urban road net, primary road, traffic, simulation model, optimization.

Вступлення

За последнее десятилетие в Украине возросла интенсивность дорожного движения. Автомобильные пробки в центральной части города в часы пик стали нормальным явлением. Сегодня назрела острая необходимость повышения эффективности управления на магистральных улицах города с применением автоматизированных систем управления дорожным движением. Создание и применение новых алгоритмов управления транспортными потоками, в системах управления, является практически необходимой задачей.

Анализ публикаций

Известны управляющие алгоритмы на улично-дорожной сети города, в составе автома-

тизированных систем управления дорожным движением (АСУДД), которые базируются на гравитационной модели [1]. Стоит отметить особенность данного вида моделей – при определении параметров потокораспределения учитываются особенности улично-дорожной сети, обобщающие параметры транспортного потока и правила распределения потоков на сети, но они не учитывают индивидуальные цели каждого участника движения. Сетевые модели управления позволяют оптимально распределить общий объем трафика на сети без учета особенностей маршрута каждого индивидуального транспортного средства.

Подобное управление дает результат в условиях ненасыщенных транспортных потоков

на городских магистралях, когда пропускная способность элементов улично-дорожной сети имеет существенный запас для движения транспортного потока [2].

Цель и постановка задачи

Постоянное изменение дорожно-транспортных условий требует непрерывного совершенствования методов и средств управления движением. Автоматизация управления дорожным движением занимает одно из ведущих мест в комплексе мероприятий, направленных на решение задачи обеспечения оптимального функционирования транспортной системы современного города, в условиях повышенной автомобилизации.

Задачи управленческого уровня наиболее трудно поддаются формализации. К ним можно отнести и задачу определения оптимального управления транспортными потоками на улично-дорожной сети (УДС) города в условиях неопределенности маршрутов следования автотранспортных средств (АТС).

Основным элементом управления транспортными потоками на улично-дорожной сети в городах является изменение режимов работы светофорных объектов на регулируемых перекрестках. При расчете управляющих воздействий применяют различные методы и исходные данные, однако в результате получают управляющие параметры на локальном светофорном объекте, которые входят в состав АСУДД города.

Известны решения задачи координированного управления по принципу «Зеленая волна» на магистралях города, при этом управляющими параметрами являются скорость движения по магистрали, сдвиг фаз между перекрестками и параметры светофорного регулирования [3].

Таким образом, можно считать, что УДС современного мегаполиса содержит участки, где возможно поддержание постоянной скорости движения при соответствующих управляющих параметрах. Эти участки могут пересекаться между собой. Точки пересечения участков будем называть узловыми перекрестками. На УДС города можно выделить участок транспортной сети, на котором возможно организовать управление по прин-

ципу выравнивания скорости на соседних к перекрестку перегонах.

Координация решений светофорных устройств

Нами предложено решение задачи координации работы светофорных устройств по улично-дорожной сети города при выравнивании скорости движения транспортных средств по основным улицам города. Для этого разработана имитационная модель координации работы светофорных устройств в сети с целью организации равномерного движения АТС по отдельным магистралям, соединенным между собой в сеть.

Исходными данными модели являются:

n – количество перекрестков;

m – количество перегонов;

X_k, Y_k – координаты k -го перекрестка на плоскости, $k = 1 \dots n$;

L_{EWk}, L_{NSk} – линейные размеры перекрестка по горизонтали (с востока на запад) и вертикали (с севера на юг);

N – интенсивность транспортных потоков на подходах к перекрестку;

C_{Hj}, C_{Kj} – индекс начала и окончания j -го перегона, $j = 1 \dots n$;

α – коэффициент кривизны перегона;

$l_{C_H-C_K}, l_{C_E-C_I}$ – количество полос движения на перегоне в обоих направлениях;

$V_{b_{C_H-C_K}}, V_{b_{C_K-C_H}}$ – базовые скорости движения транспортных средств на перегоне.

В процессе моделирования производится расчет коэффициента насыщения направления на подходе к перекрестку, значение которого зависит от геометрических параметров перекрестка и перегона

$$y_k = \begin{cases} 0, r_i = 0 \\ \sum_{j=1}^4 N_{kij} \cdot \left(1 + \frac{6}{L_{EWk} + L_{NSk}} \right) \cdot \frac{1}{1800}, & (1) \\ r_i \neq 0 \wedge l(k, i) = 1 \\ \sum_{j=1}^4 N_{kij} \cdot \left(1 + \frac{6}{L_{EWk} + L_{NSk}} \right) \cdot \frac{1}{3000}, \\ r_i \neq 0 \wedge l(k, i) = 2 \end{cases}$$

где $l(k, i)$ – вспомогательная функция, значение которой равно количеству полос со стороны i -го въезда к k -му перекрестку; r_i – признак наличия полос со стороны i -го въезда перекрестка.

Текущее минимально необходимое время цикла для работы светофорного объекта на участке сети в локальном режиме, определяется исходя из значения суммы промежуточных тактов и максимальных значений коэффициента насыщения направлений по фазам

$$T_{\min} = \frac{1,5T_i + 5}{1 - y_{13} - y_{24}} \leq 120, \quad (2)$$

где T_n – сумма промежуточных тактов; $y_{13} = \max(y_1; y_3)$ – максимальное значение коэффициента насыщения в направлении восток-запад (в модели УДС в виде ориентированного графа); $y_{24} = \max(y_2; y_4)$ – максимальное значение коэффициента насыщения в направлении север-юг.

На следующем этапе рассчитываются основные такты светофорного регулирования. При расчете цикла светофорного регулирования предполагаем, что перекресток функционирует в двухфазном режиме

$$T_{\min 13} = (T_{\min} - 2T_i) \frac{y_{13}}{y_{13} + y_{24}}; \quad (3)$$

$$T_{\min 24} = (T_{\min} - 2T_i) \frac{y_{24}}{y_{13} + y_{24}}. \quad (4)$$

При оценке функционирования улично-дорожной сети производим расчет скорости движения транспортных средств по каждому перегону магистрали, исходя из расчетного времени проезда перегона

$$V = \frac{3,6L}{\Delta t + zT_{\max}}, \quad (5)$$

где Δt – время движения по перегону; z – целое число.

Для получения параметров светофорного регулирования на сети решается задача оптимизации. Целевая функция определена как сумма квадратов отклонений текущей расчетной скорости на перегоне от эталонного значения либо от скорости движения на смежном перегоне.

$$\sum_{j=1}^m Q_j \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Q_j = & a_1 \left(V^j_{C_H-C_K} - V^j_{bC_H-C_K} \right)^2 + \\ & + a_2 \left(V^j_{C_K-C_H} - V^j_{bC_K-C_H} \right)^2 + \\ & + a_3 \left(V^j_{C_H-C_K} - V^{j-1}_{bC_H-C_K} \right)^2 + \\ & + a_3 \left(V^j_{C_K-C_H} - V^{j-1}_{bC_K-C_H} \right)^2, \end{aligned} \quad (7)$$

где a_1 – признак наличия условия равенства скорости в направлении $C_H - C_K$ заданной величине; a_2 – признак наличия условия равенства скорости в направлении $C_K - C_H$ заданной величине; a_3 – признак наличия условия равенства скоростей с другим перегонном.

При этом нами предложено введение нового управляющего параметра координации, такого как баланс разрешающих сигналов светофора.

Под балансом мы понимаем разницу между значениями максимального цикла светофорного регулирования по сети и циклом регулирования в локальном режиме на определенном перекрестке

$$B_{ki} = T_{\max} - T_{\min i}. \quad (8)$$

К управляющим параметрам для исследуемой системы перекрестков относятся:

O_k – сдвиг времени включения светофорного объекта на k -м перекрестке;

B_k – баланс разрешающих сигналов светофора на k -м перекрестке;

$V_{C_H-C_K}$, $V_{C_K-C_H}$ – скорости движения транспортных средств на рассматриваемом перегоне, для обеспечения безостановочного проезда.

Блок-схема имитационной модели для определения управляющих параметров в общем виде состоит из пяти блоков (рис. 1).

Таким образом, возможно организовать режим равномерного движения на участках исследуемой транспортной сети. При этом учитываются особенности маршрута каждого из участников движения, а алгоритм управления отслеживает в реальном времени изме-

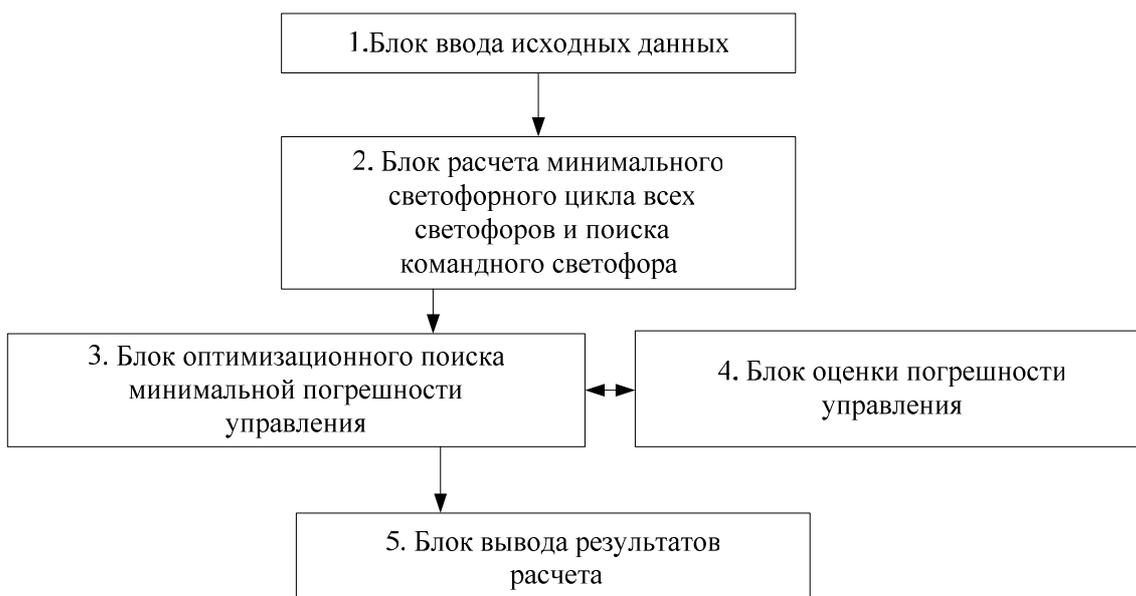


Рис. 1. Блок-схема имитационной модели

изменения количественных и качественных показателей транспортного потока с помощью системы мониторинга.

Выводы

Предложенный подход для координации работы светофорных устройств на УДС дает возможность применить разработанную модель в составе автоматизированной системы управления дорожным движением города.

Применение предложенного алгоритма управления в составе АСУДД позволит определить необходимую скорость движения АТС, которая должна быть отображена на управляемых дорожных знаках. Такой подход, позволит достичь равномерного движения транспортных потоков по рассматриваемым участкам УДС. Применение данной модели дает возможность существенно сократить время задержки транспортных средств на регулируемых пересечениях, уменьшить время следования по участку УДС, а так же снизить транспортные затраты и объемы выбросов вредных веществ в атмосферу.

Литература

1. Григоров М.А. Проблемы моделювання і управління рухом транспортних потоків у великих містах: Монографія. – Одеса: Астропринт, 2004. – 272 с.
2. Забовицкий А.В. Особенности автоматизации управления транспортными потоками // В кн. Безопасность – многоуровневый аспект: превентивные меры и методы. – Пенза: МНИЦ, 2003. – С. 31–33.
3. Абрамова Л.С., Чернобаев Н.С. Постановка задачи оптимизации адаптивного управления дорожным движением // Вісник ДІАТ: Изд-во ПП Рекламно-видавнича фірма «Молнія». – 2009. – №1 – С. 7–12.

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

Статья поступила в редакцию 5 августа 2009 г.