УДК 338.364; 656.056.4

В. С. НАУМОВ (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ В ГОРОДАХ УКРАИНЫ

Наведено математичну модель перехрестя, розроблену для проектування локальної автоматизованої системи управління дорожнім рухом. Розглянуто програмну реалізацію моделей в модулі локальної автоматизованої системи управління дорожнім рухом.

Приведена математическая модель перекрёстка, разработанная для проектирования локальной автоматизированной системы управления дорожным движением. Рассмотрена программная реализация моделей в модуле локальной автоматизированной системы управления дорожным движением.

The mathematic model of a cross-roads for projecting local automatic system of traffic control has been given. The software realization of model used in a module of automatic system of traffic control has been considered.

Введение

Большинство крупных городов Украины имеет улично-дорожную сеть, которая не соответствует возросшей интенсивности дорожного движения. Решение данной проблемы возможно двумя способами: реконструкция улично-дорожной сети и введение эффективных методов организации дорожного движения. Первый способ связан со значительными капиталовложениями, его реализация требует длительного времени. Второй же более приемлем для обеспечения нормального функционирования транспортной системы города.

В настоящее время управление транспортными потоками с помощью изолированных перекрёстков является неэффективным. Основными задачами организации движения являются максимальное увеличение пропускной способности перекрёстков, транспортной сети, магистралей; сокращение времени проезда транспортных средств между отдельными районами, магистралями, улицами города; уменьшение транспортных задержек у перекрёстков. Нахождение оптимального режима управления является сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать связь режима работы перекрёстка со смежными ему. Для решения перечисленных задач необходимы разработка алгоритмов управления потоками транспортных средств и внедрение магистральных автоматизированных систем управления дорожным движением.

Анализ публикаций

Как указывается в [1], основная цель введения автоматизированных систем управления дорожным движением заключается в снижении суммарных задержек транспортных средств на перекрёстках во всей зоне действия этой системы.

Транспортные задержки для каждого направления движения на выходе рассчитываются приближённо по формуле Вебстера [2]:

$$t_{\Delta p} = 0,9 \cdot [\frac{T_{\text{ц}} \cdot (1-\lambda)^2}{2 \cdot (1-\lambda \cdot x)} + \frac{x^2}{2 \cdot N \cdot (1-x)}], \quad (1)$$

где $T_{\text{ц}}$ – время цикла светофорного регулирования, с; x – степень насыщения направления движения; λ – отношение длительности разрешающего сигнала к длительности цикла; N – интенсивность движения транспортных средств в рассматриваемом направлении, ед./с.

Как видно из формулы (1), транспортные задержки на перекрёстке зависят от организации движения (длительности цикла и основных тактов). При этом организация пофазного разъезда будет оптимальной при минимальных задержках транспортных средств.

Во многих работах при различных предположениях относительно процесса движения транспорта ставятся задачи оптимизации координированного управления. Так, в [3] указывается, что ещё в средине прошлого века была предложена модель движения потока по магистрали, основанная на описании транспортного потока в виде потока несжимаемой жидкости. В Англии в Дорожно-исследовательской лаборатории был разработан комбинационный метод, сущность которого заключается в нахождении сдвигов фаз сигналов светофоров, работающих по жёсткому циклу.

Все существующие модели управления транспортными потоками на магистрали позволяют получить оптимальные решения лишь для

самых простых моделей. Кроме того, существующие методы позволяют получить решение лишь при непосредственном участии оператора, что увеличивает вероятность получения неоптимальных результатов.

Цель и постановка задачи

Целью исследования является автоматизация управления дорожным движением на отдельно взятом перекрёстке и оптимизация параметров светофорного регулирования перекрёстков магистрали для минимизации суммарных задержек транспортных средств.

Основными задачами исследования являются разработка универсальной математической модели, дающей возможность автоматизировать процесс расчёта разъезда на перекрёстке, совершенствование алгоритмов расчёта параметров светофорного регулирования, а также разработка программного обеспечения на основе данных моделей.

Модели управления движением транспортных средств

Автоматизированную систему управления дорожным движением можно укрупнённо представить в виде двух элементов: центральный диспетчерский пункт и сеть дорожных контроллеров с модемом и радиостанцией, находящихся на перекрёстках города. В свою очередь, центральный диспетчерский пункт состоит из следующих элементов: источники бесперебойного питания, центральный пункт управления, автоматизированное рабочее место технолога, конвертор, концентратор верхнего уровня, радиостанции, антенны. Особый интерес с точки зрения усовершенствования методов управления дорожным движением представляет методическое и программное обеспечение для оператора, который располагается в автоматизированном рабочем месте технолога.

Процесс расчёта пофазного разъезда на перекрёстке можно разбить на этапы: объединение геометрических направлений движения транспортных средств и пешеходов в регулируемые направления; закрепление регулируемых направлений за фазами; расчёт длительности основных и промежуточных тактов, расчёт и корректировка длительности цикла светофорного регулирования; построение циклограммы.

Геометрическими направлениями движения называются траектории движения транспортных средств и пешеходов на перекрёстках и пешеходных переходах. На рис. 1 представлены укрупнённо 16 геометрических направлений движения: 1 - 4 направления – движение транспортных средств прямо; 5 - 8 направления – движение транспортных средств направо; 9 - 12 направления – движение транспортных средств налево; 13 - 16 направления – пешеходные направления.

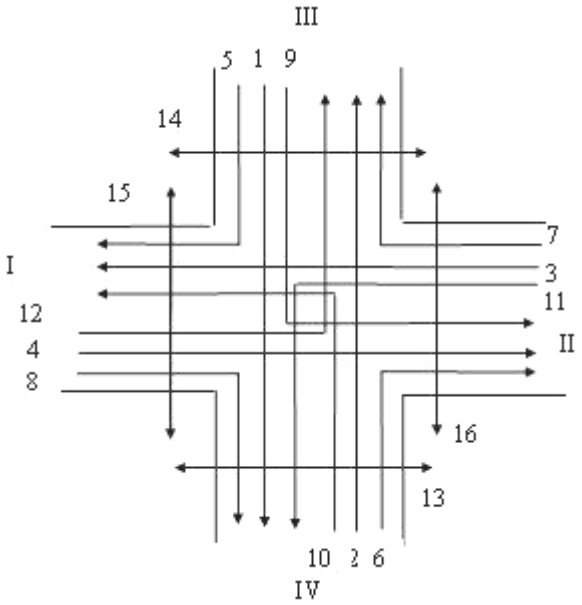

Рис. 1. Геометрические направления движения

Каждому из геометрических направлений соответствует интенсивность транспортного или пешеходного потока. Совокупность интенсивностей можно представить в виде вектора **N**, причём элементы вектора n_j представляют собой интенсивности движения в j-ом геометрическом направлении:

$$\mathbf{N} = [n_1, n_2, \ldots, n_{16}]. \qquad (2)$$

Элементы $n_1 \ldots n_{12}$ данного вектора являются интенсивностями транспортных потоков, а элементы $n_{13} \ldots n_{16}$ – интенсивностями пешеходных потоков. Вектор **N** отражает запрещённые манёвры на перекрёстке следующим образом: если элемент вектора $n_j = 0$, то движение в j-ом направлении запрещено. Подобным образом можно перейти от модели Х-образного перекрёстка к модели перекрёстка Т-образного. Если $n_j = n_{j+4} = n_{j+8} = 0$ ($j = 1 \ldots 4$), то исходящие потоки одного из рукавов (I - IV) перекрёстка отсутствуют; далее, обнуляя интенсивности входящих потоков, полностью исключаем из рассмотрения соответствующий рукав и получаем модель Т-образного перекрёстка. Продолжая обнуление соответствующих элементов вектора **N**, можно перейти к рассмотрению пофазного разъезда на отдельном участке дороги.

Если известно количество регулируемых направлений движения на перекрёстке N_{dir}, то объединение геометрических направлений в регулируемые можно представить в виде матрицы **A**, имеющей размерность $N_{dir}\times 16$, причём элементы матрицы $a_{ij} = 1$, если j-ое геометрическое направление входит в i-ое регулируемое направление, и $a_{ij} = 0$ в противном случае.

$$\mathbf{A} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{11} & \dots & a_{11} \\ a_{11} & a_{11} & \dots & a_{11} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{11} & a_{11} & \dots & a_{11} \end{vmatrix}. \qquad (3)$$

Следует отметить, что одно геометрическое направление может принадлежать одному и только одному регулируемому направлению, т.е. если $a_{in} = 1$, то $a_{ij\ (j\neq n)} = 0$.

Аналогично можно представить закрепление регулируемых направлений за фазами. Если известно число фаз N_{ph}, то матрица **P**, имеющая размерность $N_{dir}\times N_{ph}$, может отражать закрепление регулируемых направлений за фазами светофорного цикла. Причём элементы матрицы $p_{ik} = 1$, если i-ое направление закреплено за k-ой фазой, и $p_{ik} = 0$ в противном случае.

$$\mathbf{P} = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{11} & \dots & p_{11} \\ p_{11} & p_{11} & \dots & p_{11} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{11} & p_{11} & \dots & p_{11} \end{vmatrix}. \qquad (4)$$

Т.к. регулируемое направление может быть закреплено более чем за одной фазой (в случае, когда поток имеет большую интенсивность), то матрица **P** может содержать в строке несколько единичных элементов, но в каждой строке хотя бы один элемент p_{ik} должен быть равен 1.

Целью введения координированного управления является минимизация задержек транспортных средств на перекрёстках [2]. Для этого нужно минимизировать время задержки автомобилей на каждом отдельно взятом перекрёстке. Время задержки автомобилей f_i на i-ом перекрёстке в [3] предлагается рассчитывать по зависимости:

$$f_i = \int_0^t I_{i-1} \cdot \left[t_{\text{кр}i} + \frac{I_{i-1}\cdot\tau}{C_i} - \tau \right] d\tau, \qquad (5)$$

где I_{i-1} – интенсивность транспортного потока, прибывающего с момента окончания зелёной фазы, авт./с; $t_{\text{кр}i}$ – длительность запрещающего сигнала светофора, с; C_i – интенсивность разгрузки очереди, авт./с.

Оптимальное значение фазового сдвига определяется итерационно – перебором в интервале [0; T) с шагом в 1 с. Критерием оптимальности является минимальное соответствующее значение суммарной задержки транспортных средств в прямом и обратном направлении.

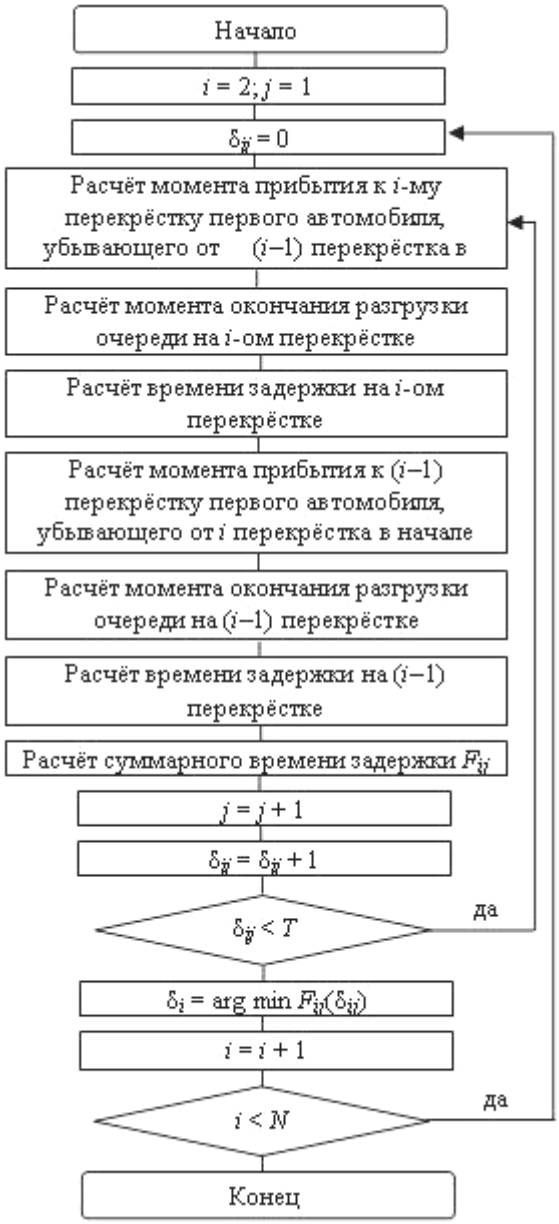

Рис. 2. Алгоритм расчёта сдвигов цикла

Реализация моделей

Используя приведенную математическую модель, автором был разработан и программно реализован алгоритм расчёта пофазного разъезда транспортных средств на перекрёстке. Исходными данными для расчёта являются геометрические параметры перекрёстка и интенсивности потоков. Программа рассчитывает

оптимальное число фаз регулирования, производит объединение геометрических направлений движения в регулируемые и закрепление последних за фазами светофорного цикла. На рис. 3 приведен пример результатов расчёта пофазного разъезда, полученных при использовании разработанного модуля.

Рис. 3 Пример результатов расчёта

Исходными данными при расчёте фазовых сдвигов для каждого перекрёстка магистрали являются входная и выходная интенсивности движения транспортных средств, длительность цикла, длительность запрещающей движение по магистрали фазы цикла светофорного регулирования, а также расстояние между смежными перекрёстками магистрали. Рабочее окно программы с исходными данными для расчёта параметров координированного управления представлено на рис. 4. Результатом работы программы является оптимальный сдвиг начала зелёной фазы для каждого перекрёстка относительно предыдущего, а также значение задержки транспортных средств.

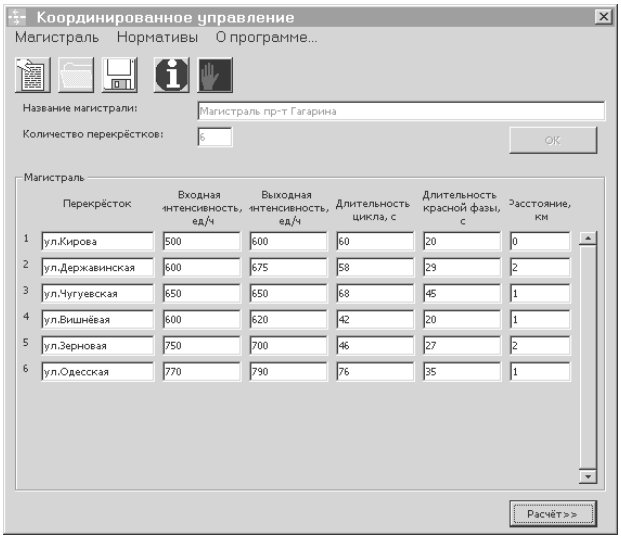

Рис. 4. Исходные данные для расчёта сдвигов

Выводы

Разработанные модели могут применяться для компьютерного моделирования перекрёстков. Взаимодействие приведенного программного обеспечения позволяет оперативно менять программы светофорной сигнализации в соответствии с условиями дорожного движения. Данная функция даёт возможность полностью автоматизировать управление и свести к минимуму человеческий фактор и затраты на заработную плату обслуживающему персоналу. Рассмотренные модули используются в магистральной системе автоматизированного управления дорожным движением, которая разрабатывается НПП «Система-Сервис» (Харьков).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коноплянко, В. И. Организация и безопасность дорожного движения [Текст] / В. И. Коноплянко. – М.: Транспорт, 1991. – 183 с.
2. Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения [Текст] / Ю. А. Кременец. – М.: Транспорт, 1990. – 255 с.
3. Капитанов, В. Т. Расчёт параметров светофорного регулирования [Текст] / В. Т. Капитанов. – М.: ВНИИБД, 1981. – 95 с.

Поступила в редколлегию 23.03.2009.