

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТА ЧЕРЕЗ ПЕРЕКРЕСТОК

А.Т. Ахмедиярова<sup>1</sup>, М.Н. Калимолдаев<sup>2</sup>, И.Т. Утепбергенов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> докторант, <sup>2</sup> доктор физико-математических наук, профессор, директор, <sup>3</sup> доктор технических наук, профессор

<sup>1</sup> Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева (Алматы),

<sup>2</sup> «Институт информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы),

<sup>3</sup> Университет «Туран» (Алматы), Казахстан

**Аннотация.** Рассматриваются методы моделирования и управления движением транспорта через перекресток. В основу построения модели положены основные методы автоматического регулирования работы светофора, разрабатываемые в настоящее время.

**Ключевые слова:** потоки машин, управление транспортом, сеть Петри, S-гиперсети.

**Введение.** Управление транспортной инфраструктурой крупных городов с применением технологий интеллектуальных транспортных систем все активнее используется в мировой практике организации дорожного движения. Оптимальное регулирование движения транспортных потоков через перекресток является важной стратегической задачей в городском планировании. Естественным способом управления движением является регулирование работы светофора таким образом, чтобы образующиеся очереди автомобилей были как можно меньше, и чтобы стоящие в очереди автомобили как можно быстрее покидали перекресток.

Вопросам разработки и исследования эффективности различных методов управления транспортными потоками (ТП), закономерностям их поведения на улично-дорожной сети (УДС) посвящены работы Д. Дрю [2], Г.И. Клиновштейн [3], М.С. Фишельсон [15], В.А. Черепанов [16]. В последние десятилетия в России в практике управления потоками на улично-дорожной сети города накоплен значительный опыт, научные и методологические основы которого обобщены в работах В.В. Зырянова, В.Т. Капитанова, Г.И. Клиновштейна, Ю.А. Кременца, М.П. Печерского, М.В. Яшиной и др.

Проведенный анализ ряда литературных источников по теории транспортных потоков через перекресток [5] и связи [11], сетей абонентского доступа [14], кабельной сети внутри здания [1]), выявил наиболее подходящий для решения поставленной задачи - математический объект S-гиперсеть [12]. На основе этого объекта была построена модель городской сети электротранспорта, разработан алгоритм нахождения кратчайшего по времени пассажирского пути, а также программно реализованы решения задач проверки корректности расписания и нахождения кратчайшего по времени пути.

Проанализированы основные характеристики транспортных потоков с точки зрения условия образования заторов. Приводится определение затора на регулируемых пересечениях: затор – это состояние транспортного потока, когда длительность задержки транспортных средств на пересечении составляет более длительности одного цикла светофора [4, 8, 9, 7].

Проанализировано решение проблем состояния транспортных потоков на регулируемых пересечениях УДС [5, 10, 13]. Существующая методика расчета задержек транспортных средств на регулируемых пересечениях, разработанная М.С. Фишельсоном, в современных условиях имеет недостатки, т.к. рассчитывает задержки только от однократной остановки транспортных средств и не учитывает существование заторов.

### Управление перекрестком в регулярных городах с помощью сетей Петри

«Регулярным» городом называется город, который обладает симметрией, по крайней мере приблизительно. Для таких симметрических городов строится сеть Петри, описывающая синхронизацию между всеми светофорами города, основанная на виртуальной циркуляции автомобилей на данной скорости и простого описания потоков этих автомобилей.

Для оптимизации времени проведения в системе автомобилем нужно разрабатывать «зеленые волны». Если правильно выбрать продолжительность цикла, то можно разработать четыре системы совместимых зеленых волн такие, что автомобиль может проехать между двумя точками города с предписанной скоростью, встретив максимум один красный свет. Этот результат является действительным только тогда, когда нет насыщения, когда потоки на всех улицах меньше, чем виртуальный поток машин. Предположение о геометрических закономерностях в городе не столь строго. Это может быть достигнуто зачастую путем адаптации скорости на каждой части улицы таким образом, что время, необходимое для прохождения каждого блока оставалось бы одинаковым.

### Макс-Плюс моделирование сетей Петри

Поясним способ для расчета пропускной способности достаточно общего класса сетей Петри, которые могут быть интерпретированы в терминах стохастического контроля (рис.1).

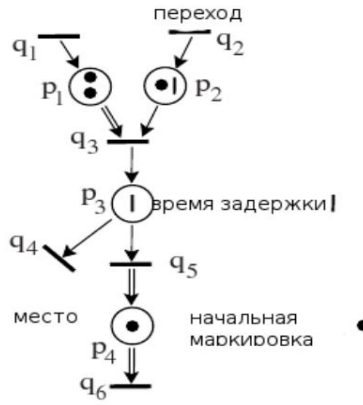


Рис. 1. Сеть Петри

Непрерывная сеть Петри определяется

$$N = (P, Q, M, p, m, \tau),$$

где:

1.  $P$  – конечное множество элементов, называемых местами;
2.  $Q$  представляет собой конечное множество элементов, которые называются переходами;
3.  $M \in (\mathbb{R})^{P \times Q \cup P \times Q}$  являются множителями дуг, что  $M_{pq}$  (соответственно  $M_{qp}$ ) обозначает число дуг от перехода  $q$  к месту  $p$  (соответственно от места  $p$  к переходу  $q$ );
4.  $\rho: Q \times P \rightarrow \mathbb{R}^+$  определенная уравнением:

$$\sum_{q \in p^{int}} \rho_{qp} = 1, \forall p \in P$$

является правилом маршрутизации, которое дает пропорцию жидкостей, идущих от места  $p$  до перехода  $q$  по отношению к количеству жидкости, приходящей на место  $p$ ;

5.  $m \in (\mathbb{R}^+)^P$  – первоначальные маркировки, а именно:  $m_p$  это количество жидкости на месте  $p$  в начальный момент времени;
6.  $\tau \in (\mathbb{R}^+)^P$  является временем задержки, то есть временем, которое молекулы жидкости должны провести в месте перед началом движения.

Динамика системы определяется переходами. Переход происходит сразу, если есть достаточное количество текущей среды, доступной во всех местах  $p \in q^{in}$  вверх перехода  $q$  (под «доступным» мы имеем в виду, что жидкость провела минимальное время стоя на месте). Общее количество проведенного  $q$  на месте  $p$  во время  $t$  есть  $Z_q(t)M_{qp}$  (где сумма срабатываний  $q$  обозначается  $Z_q$ ). Общий объем жидкости произведенной во время  $t$  в  $p \in q^{out}$  является  $M_{pq}Z_q(t)$ . Процесс срабатываний идет как можно быстрее. Общий объем жидкости, который вступил на место  $p$  во время  $t$  обозначается  $Z_p(t)$ .

Определяя

$$\mu_{pq} = M_{pq}, \mu_{qp} = M_{qp}^{-1}, \tilde{\mu}_{qp} = \mu_{qp} p_{qp}$$

можно определить динамику системы полностью следующим образом:

$$Z_q(t) = \min_{p \in q^{in}} \tilde{\mu}_{qp} Z_p(t - \tau_p),$$

$$Z_p(t) = m_p + \sum_{q \in p^{in}} \mu_{pq} Z_q(t)$$

Избавляясь от переменной  $Z_p$ , получаем уравнение динамического программирования, определяющее  $Z_q$ :

$$Z_q(t) = \min_{p \in q} [\tilde{\mu}_{qp} m_p + \sum_{q' \in p^{in}} \mu_{pq'} Z_{q'}(t - \tau_p)] \quad (1)$$

Это уравнение может быть истолковано как уравнение динамического программирования для задачи стохастического управления с дисконтируемой стоимостью.

При определенных условиях, описанных в следующей теореме, эта задача (1) является недисконтируе-

мой.

**Теорема 1.** Если существует  $\nu \in (\mathfrak{R}^+)^Q$  что:

$$\sum_{q \in p^{out}} \nu_q M_{qp} = \sum_{q' \in p^{in}} M_{pq'} \nu_{q'}, \forall p \in P \quad (2)$$

Уравнение (1) имеет интерпретацию недисконтируемого стохастического управления с функцией Беллмана:

$$W_q = \frac{z_q}{\nu_q}$$

В частности, условие теоремы выполняется, когда:

$$\sum_{q \in p^{out}} M_{qp} = \sum_{q' \in p^{in}} M_{pq'}, \forall p \in P,$$

то есть когда для всех мест существует равное количество дуг, входящих и выходящих из места, с общим правилом маршрутизации (то есть  $p_{qp} = 1/|p^{out}|$ , где  $|A|$  конечного множества  $A$  означает его мощность). В этом случае мы имеем  $\nu = 1$  ( $1$  – вектор с координатами, равными 1).

Используя это замечание, мы можем определить пропускную способность этих сетей Петри, которые являются единственными живыми и стабильными сетями Петри (остальные либо взорвутся, либо умрут через конечное время).

**Теорема 2.** Обозначив

$$p_{qq'}^p = \nu_q^{-1} \hat{\mu}_{qp} \mu_{pq'} \nu_{q'}, \nu_q^p = m_p \hat{\mu}_{qp'}$$

пропускная способность  $\lambda = \lim_{t \rightarrow \infty} Z_q(t)/t$  сильно связанной сети Петри, удовлетворяющей (2), получим решение, которое существует, является независимой от  $q$  и является решением уравнения динамического программирования:

$$w_q = \min_{p \in q^{in}} (\nu^p - \lambda \tau_p + P^p w_q), \forall q \in Q$$

С помощью этой теоремы можно вычислить пропускную таких сетей Петри с помощью алгоритма Говарда, сложность которого экспериментально почти линейна по отношению к числу дуг в сети Петри.

#### **Моделирование синхронизации светофора с помощью сети Петри**

Сначала необходимо сделать предположение о том, что автомобили являются виртуальными, то есть реальные автомобили не обязаны двигаться, как виртуальные. Виртуальные автомобили полезны при исследовании идеального координирования. Потоки реальных машин не могут быть больше, чем потоки виртуальных.

#### **Моделирование перекрестка**

Сеть Петри, связанная с перекрестком, приведена на рисунке 2. Обозначим через  $x_0(t)$  и  $x_1(t)$  общее число зеленых фаз, которые произошли на каждом из двух светофоров до момента  $t$ .

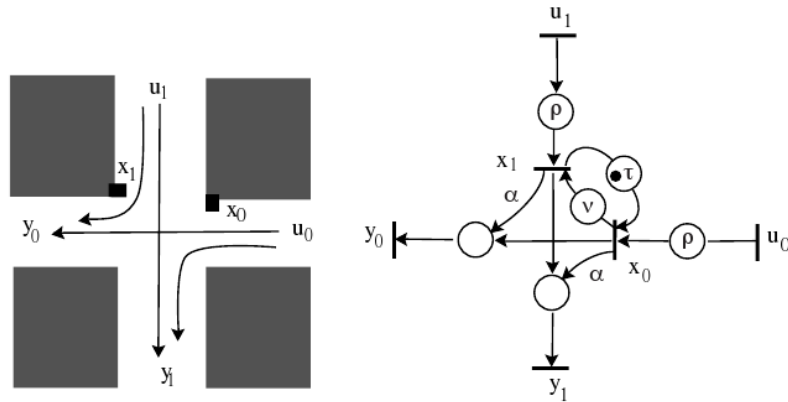


Рис. 2. Сеть Петри на перекрестке

Продолжительности зеленой фазы двух светофоров обозначаются соответственно  $\tau$  и  $\nu$ . Предполагаем, что количество автомобилей, которые могут пересекать перекресток, пропорционально длине соответствующей зеленой фазы с коэффициентом, который мы выбираем равным единице. Также предполагаем, что на каждом перекрестке доля транспортных средств, равная  $\alpha$ , поворачивает только в одну сторону. Обозначим через  $u_0(t)$  и  $u_1(t)$  общее число легковых автомобилей, прибывших на перекресток до времени  $t$ , и  $y_0(t)$  и  $y_1(t)$  общее число автомобилей, которые покинули перекресток до времени  $t$ .

Соотношение между входами  $u$  и выходами  $y$  является уравнением стохастического динамического программирования, где функция Беллмана есть:

$$x = a \otimes x \oplus b \otimes u, \quad y = cx, \quad (3)$$

где

$$a = \begin{bmatrix} \varepsilon & \gamma \delta^\gamma \\ \delta^\nu & \varepsilon \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} \delta^p / p & \varepsilon \\ \varepsilon & \delta^p / \tau \end{bmatrix}, \quad c = \begin{bmatrix} (1-\alpha)\nu & \alpha\tau \\ \alpha\tau & (1-\alpha)\tau \end{bmatrix},$$

где  $\oplus$  обозначает minplus сложение матриц,  $\otimes$  – minplus умножение матриц (замена сложения на минимум и умножения на сложение в обычном матричном умножении,  $\varepsilon = \infty$ ,  $e = 0$ ),  $\delta$  – это единичный сдвиг во времени ( $\delta v(t) = v(t-1)$ ) и  $\gamma$  является единичным сдвигом в нумерации ( $\gamma v(t) = 1 + v(t)$ ).

С помощью этих обозначений в первом уравнении (3.3) получаем:

$$x_0(t) = \min \{1 + x_1(t - \tau), u(t - p) / \nu\}, \quad y_0(t) = (1 - \alpha) x_0(t) + \alpha x_1(t).$$

Важно обратить внимание, что произведение матриц  $y = cx$  является стандартным. Очевидно эти уравнения динамического программирования (3), не линейны ни в minplus алгебре, ни в стандартной. Использование minplus матричного умножения является лишь удобным и компактным способом написания векторных уравнений.

#### Моделирование блока перекрестков.

Рассмотрим регулярный город, изображенный на рисунке 3, состоящий из разделенных улицами квадратов (с противоположным направлением движения для последовательных улиц).

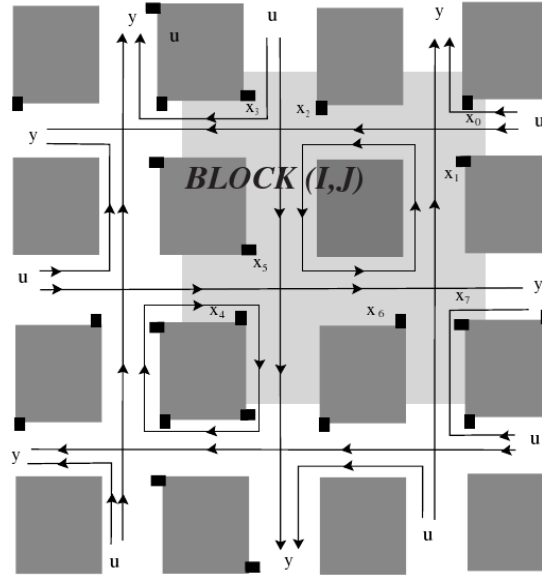


Рис. 3. Регулярный город

Для определения динамики этой системы, было бы полезно сначала определить динамику блока, состоящего из четырех перекрестков.

Динамика блока определяется сетью Петри, приведенной на рисунке 4. Соответствующие уравнения:

$$X_i = a \otimes x_i \oplus b \otimes \pi^i \otimes cx_{i-1} \oplus b \otimes \pi^{i-1} \otimes E \otimes u_i, \quad y_i = E' \otimes \pi^i \otimes cx_i, \quad i = 0, 1, 2, 3,$$

где

$$X_i = \begin{bmatrix} x_{2i} \\ x_{2i+1} \end{bmatrix}, \pi^1 = \pi^3 = \begin{bmatrix} e & \in \\ \in & \in \end{bmatrix}, \pi^0 = \pi^2 = \begin{bmatrix} \in & \in \\ \in & e \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} e \\ e \end{bmatrix}$$

и расчет для индекса  $i$  был сделан по модулю 4.

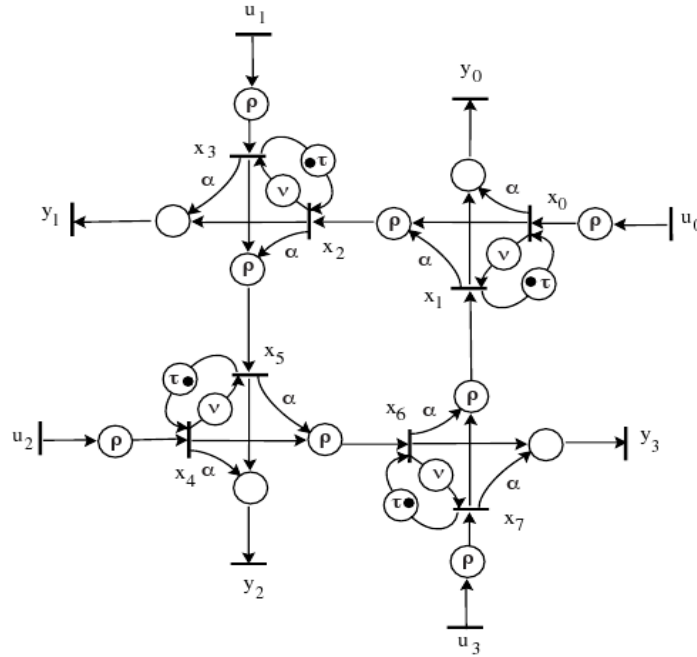


Рис.4. Сеть Петри для блока из четырех перекрестков

Это система с 8 состояниями, 4 входами и 4 выходами, что можно формально записать, как:

$$x = A \otimes x \oplus B \otimes u, y = Cx,$$

где  $A$  - это  $8 \times 8$  нелинейный оператор:

$$A = \begin{bmatrix} a & \in & \in & b\pi^0 c \\ b\pi^1 c & a & \in & \in \\ \in & b\pi^0 c & a & \in \\ \in & \in & b\pi^1 c & a \end{bmatrix}$$

Наличие стационарного режима сразу гарантирует существование недисконтируемой интерпретации стохастического контроля этого уравнения динамического программирования. Для этого достаточно, чтобы

$$(1 - \alpha)v + \alpha\tau = v, (1 - \alpha)\tau + \alpha\tau = \tau,$$

где положили  $V = \tau$ .

В самом деле,  $\alpha$ ,  $v$  и  $\tau$  могут зависеть от перекрестка, и в данном случае достаточным условием становится:

$$\alpha_{q-1}\tau_{q-1} + (1 - \alpha_{q-2})v_{q-2} = v_q, q \text{ чётно},$$

$$\alpha_{q-3}v_{q-3} + (1 - \alpha_{q-2})\tau_{q-2} = \tau_q, q \text{ нечётно}.$$

#### Моделирование регулярного города.

Регулярный город состоит из блоков, которые мы можем нумеровать парой  $(I, J)$ , (рисунок 4), где  $I$  это координата «запад-восток» ( $W - E$ ) блока и  $J$  координата «юг-север» ( $S - N$ ).

Тогда в динамике полного города можно написать:

$$x_{IJ} = Ax_{Ii} \oplus A_0 x_{I+1,J} \oplus A_1 x_{I,J+1} \oplus A_2 x_{i-1,J} \oplus A_3 x_{I,J-1},$$

где

$$A_0 = \begin{bmatrix} \in & b\pi^1 c & \in & \in \\ \in & \in & \in & \in \\ \in & \in & \in & \in \\ \in & \in & \in & \in \end{bmatrix}, A_1 = \begin{bmatrix} \in & \in & \in & \in \\ \in & \in & b\pi^0 c & \in \\ \in & \in & \in & \in \\ \in & \in & \in & \in \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \in & \in & \in & \in \\ \in & \in & \in & \in \\ \in & \in & \in & b\pi^1 c \\ \in & \in & \in & \in \end{bmatrix}, A_3 = \begin{bmatrix} \in & \in & \in & \in \\ \in & \in & \in & \in \\ \in & \in & \in & \in \\ b\pi^0 c & \in & \in & \in \end{bmatrix}$$

Как было показано выше, предыдущий тип системы мог быть решен эффективно. Но для этой системы придется оптимизировать некоторые параметры. Например, мы должны провести первоначальное обозначение в местах, соответствующих улице, время горения зеленого и красного света. Когда нет насыщения, можно подобрать довольно хорошие параметры и получить систему зеленых волн, которая позволяет проезд между двумя точками в городе с максимум одним красным светом.

Минусы этой модели очевидны:

Она адекватна только на симметричных городах, при небольших плотностях потока. Кроме того, требуется вручную регулировать множество параметров, что делает ее пока неподходящей к регулированию перекрестка в общем случае.

#### **Использование нечеткой логики в управлении светофором**

В системах, основанных на нечеткой логике, есть контроллер, который управляет временем горения светофора, обеспечивая движение трафика с минимальной задержкой. В этих системах также используются датчики, размещенные на перекрестках, сигнализирующие контроллеру о прибытии транспорта, а также о покидании транспортом перекрестка.

Работа светофоров основана на нескольких принципах.

Этап, когда трафик по некоторому набору полос покидает перекресток. На рисунке 5 показаны четыре типичные фазы для перекрестка.

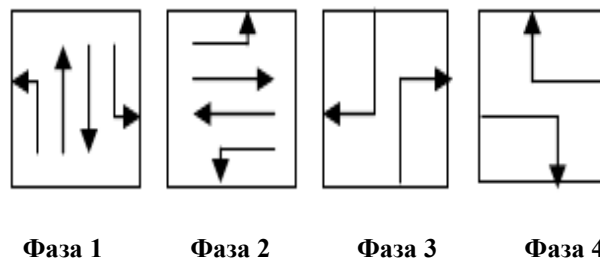


Рис. 5. Фазы изолированного перекрестка с четырьмя дорогами

Завершение всех фаз называется циклом. Длина цикла определяется длиной фаз цикла. Обычно длина цикла predetermined заранее и является фиксированной величиной. Однако, в динамических методах длина цикла может изменяться в зависимости от состояния движения. Цвет светофора показывает начало или конец фазы. Зеленый свет обозначает активную фазу, желтый свет указывает окончание фазы и красный цвет означает завершение текущей фазы и начало следующей фазы. Обычно фазы меняются одна за другой на каждом цикле.

Диспетчер Нечеткой Логике смотрит на состояния при других фазах светофора. Нечеткая логика решает использование подобных человеческому подход, чтобы принять решения, которые невозможно принять системе, основанной на количественных данных. Например, «ЕСЛИ МНОГО автомобилей прибыло, И МАЛО ЗЕЛЕНОВОГО СВЕТА, то ПРОДЛИТЬ ЗЕЛЕНЫЙ» – лингвистический подход, используемый в нечеткой логике.

#### **Модель нечеткой логики для изолированного перекрестка**

Формулировка Нечетких Входных Параметров:

Рассмотрим изолированный перекресток с четырьмя подъездными путями, как показано на рисунке 6.

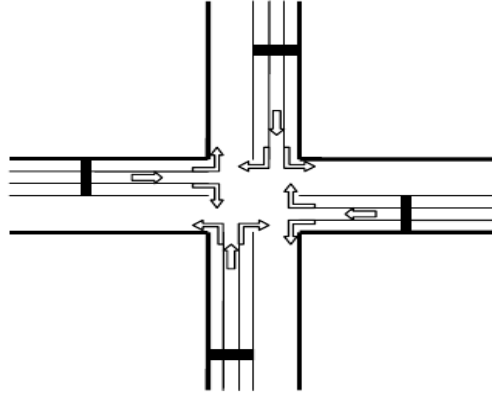


Рис. 6. Изолированный перекресток

Каждый подход имеет 3 полосы входящих и 3 исходящих. В этой модели четыре фазы.

1. Автомобили движутся с севера на юг (прямо), севера на восток (поворот), с юга на север (прямо) и с юга на запад (поворот)
2. С запада на восток (прямо), с запада на север (поворот), с востока на запад (прямо) и с востока на юг (поворот)
3. С севера на запад (поворот) и с юга на восток (поворот).
4. С запада на юг (поворот) и с востока на север (поворот).

В качестве входного вектора к диспетчеру нечеткой логики используется четыре параметра. Первый – длина очереди на красной фазе ( $RQL$ ), которая является остатком транспортных средств, начиная с последнего зеленого сигнала, плюс прибытие в течение текущего красного сигнала:

$$RQL = Q_{gr} + \sum Vr(i), \quad (4)$$

где  $Q_{gr}$  – число транспортных средств, которые не покинули перекресток за фазу зеленого сигнала, и  $\sum Vr(i)$  – сумма прибывших транспортных средств в  $i$ -ю секунду красной фазы.

Второй параметр ( $RGT$ ) – отношение оставшегося времени горения зеленого сигнала к общей продолжительности горения зеленого сигнала.

$$RGT = q(t)/T_g, \quad (5)$$

где  $T_g$  – полное время для зеленой фазы и  $g(t)$  – оставшееся время в момент  $t$  от начала зеленой фазы.

Третий параметр – прибытие транспортных средств в течение горения зеленого сигнала ( $AG$ ), где  $\sum Vg(i)$  – число прибывших транспортных средств в  $i$ -ю зеленую фазу.

$$AG = \sum Vg(i) \quad (6)$$

Наконец, четвертый критический параметр для этой модели – среднее время разгрузки зеленого света ( $AGDT$ ). Он указывает, покидают ли транспортные средства в пределах нормального потока или нет.

$$AGDT(n) = \alpha(CDT) + (1 - \alpha)AGDT(n-1), \quad (7)$$

где  $CDT$  – текущее разгрузочное время покидания перекрестка автомобилями,  $AGDT(n-1)$  – предыдущее высчитанное время.

$$\text{Задержка} = \text{момент покидания перекрестка транспортным средством} - \text{момент прибытия на перекресток} \quad (8)$$

*Нечеткие правила нормального диспетчера.* Диспетчер берет три входных параметра. Первые два –  $AG$  и  $RGT$ , которые берутся из текущей зеленой фазы. Третий параметр –  $RQT$ , который берется с дорожных полос на красной фазе. Он сравнивает эти параметры, чтобы решить, расширить ли или уменьшить время горения зеленого сигнала текущей фазы. Выходными данными является степень изменения во времени горения зеленого сигнала. Нечеткие наборы показываются в рисунке 7 (а, б, с).

Если очередь на красной фазе является длинной и прибытие автомобилей на зеленой фазе невелико, то логически текущую зеленую фазу нужно закончить таким образом, чтобы диспетчер может перейти на следующую фазу. Например, нечеткое правило может быть заявлено подобно этому:

если  $RQL$  много и  $AG$  очень мало и  $RGT$  много, то Расчет времени Уменьшен.

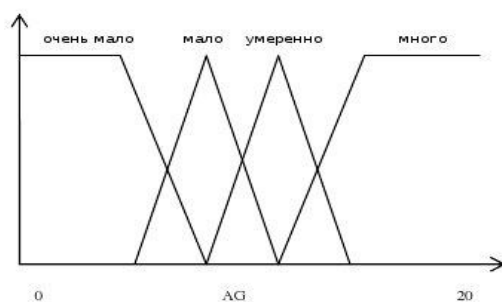
Рисунок 8 показывает нечеткие наборы выбора длительности сигнала.

*Нечеткие правила аномального диспетчера.* Этот диспетчер подобен нормальному, но он имеет дополнительный параметр  $AGDT$ .  $AGDT$  указывает, сколько времени в среднем автомобилю нужно, чтобы покинуть перекресток за зеленую фазу. Если  $AGDT$  возрастает, то есть возможность, что время горения зеленого сигнала будет увеличено. Например, нечеткое правило для этого модуля может быть заявлено так:

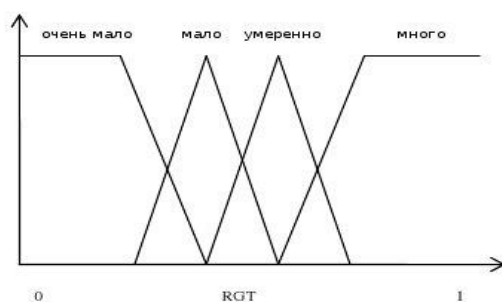
если  $RQL$  мало и  $AG$  умеренно и  $RGT$  много и  $AGDT$  очень долгое, то расчёт времени уменьшен.

Рисунок 7(d) иллюстрирует нечеткие множества для  $AGDT$ .

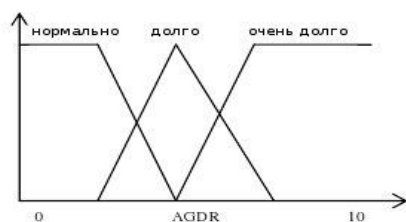
Эта система может быть расширена на группу перекрестков. Для этого диспетчеры дополнительно проводят синхронизацию со своими соседями.



(b) AG



(c) RGT



(d) AGDT

Рис. 7. Нечеткие наборы

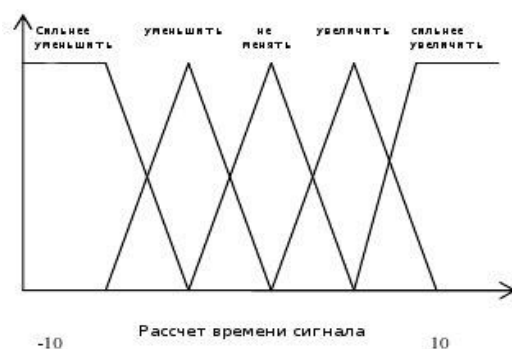


Рис. 8. Нечеткий расчет времени сигнала



## Заключение

Результаты сравнения автоматических контроллеров, основанных на нечеткой логике, показали выигрыш во времени прохождения автомобилями перекрестка по сравнению с обычными методами, в которых время горения сигналов светофора было фиксировано. Однако для реализации такой модели в городе необходимо понести солидные денежные убытки на установку контроллеров, датчиков и их соединение в сеть. Однако, это не является преградой для компьютерного моделирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галямов, В. А. Генетический алгоритм задачи размещения структурированной кабельной системы здания / В. А. Галямов, С. С. Соловей // Научное обозрение. – М. : Наука, 2005. – №5. – С. 23–25.
2. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М. : Транспорт, 1972. – 424 с.
3. Клиновштейн, Г. И. Организация дорожного движения. Учебник для вузов / Г. И. Клиновштейн. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 2001 – 247 с.
4. Кристофидес, Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. – М. : Мир, 1978.
5. Попков, В. К. Математические модели связности / В. К. Попков // Отв. Ред. А.С. Алексеев. – 2-е издание, исправленное и дополненное – Новосибирск : Изд. ИВМиМГ СО РАН, 2006.
6. Попков, В. К. Математические модели связности / В. К. Попков. – Новосибирск : Изд. ИВМиМГ СО РАН, 2006.
7. Попков, В. К. Минимальная реализация и другие операции над гиперсетями / В. К. Попков, А. С. Гаврилов // журнал «Проблемы информатики», №4, 2011.
8. Попков, В. К. Некоторые аспекты теории S-гиперсетей / В. К. Попков // Доклады Седьмой международной азиатской школы-семинара Проблемы оптимизации сложных систем. – Ташкент, 2011. – С. 7–13.
9. Попков, В. К. О моделировании городских транспортных систем гиперсетями / В. К. Попков // Журнал «Автоматика и телемеханика», 2011. – № 6.
10. Попков, В. К. Применение теории s-гиперсетей для моделирования систем сетевой структур / В. К. Попков // Проблемы информатики № 4, 2010. – С. 17–40.
11. Попков, Г. В. Планирование и оптимизация топологии телефонных сетей абонентского доступа / Г. В. Попков, Е. Б. Бежаева // ГИС ассоциация. Информационный бюллетень, 1998. – №3(15). – С. 45–46.
12. Попков, Г. В. Применение теории гиперсетей в задачах оптимизации систем сетевой структуры / Г. В. Попков // Труды ИВМиМГ СО РАН. Сер. Информатика. – Новосибирск : Изд. ИВМиМГ СО РАН, 2001. – Вып. 7. – С. 87–92.
13. Попков, Г. В. Сеть абонентского доступа с использованием технологий Ethernet FTTH, PON / Г. В. Попков // Журнал Проблемы информатики № 4, 2011. – С. 45–49.
14. Попков, Г. В., Оптимизация городских сетей абонентского доступа / Г. В. Попков // Междунар. симп. по проблемам модульных систем и сетей ISCNET. – М., 2001.
15. Фишельсон, М. С. Городские пути сообщения / М. С. Фишельсон. – М. : Высш. школа, 1980. – 296 с.
16. Черепанов, В. А. Транспорт в планировке городов / В. А. Черепанов. – М. : Издательство литературы по строительству, 1970. – 304 с.

*Материал поступил в редакцию 20.11.15.*

## STUDYING THE METHODS OF MODELLING AND CONTROLLING TRAFFIC AT THE CROSSROADS

**A.T. Akhmediyarova<sup>1</sup>, M.N. Kalimoldaev<sup>2</sup>, I.T. Utepbergenov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Candidate for a Doctor's Degree,

<sup>2</sup> Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head, <sup>3</sup> Doctor of Technical Sciences, Professor

<sup>1</sup> Satbayev Kazakh National Technical University (Almaty),

<sup>2</sup> Institute of Information and computer technologies (Almaty),

<sup>3</sup> Turan University (Almaty), Kazakhstan

**Abstract.** *The methods of modelling and controlling transportation at the crossroads are considered. The model is based on the main methods of automatic traffic light control, being developed nowadays.*

**Keywords:** *traffic, traffic administration, Petri net, S-hypernetworks.*