

А. Г. Федорченко, П. В. Дробный

Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
в г. Горловка

МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИКЛОВ СВЕТОФОРА НА ПЕРЕКРЕСТКАХ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Разработана математическая модель алгоритма функционирования работы микропроцессорного контроллера светофора, обеспечивающего оперативное и адекватное отображение ситуаций на перекрестках автомобильных дорог. Особенности модели алгоритма заключаются в оперативном реагировании на изменения ситуаций на перекрестке путем изменения продолжительности разрешающей фазы движения в каждом цикле работы светофора в зависимости от длины очереди транспортных средств в соответствующем направлении, адекватном отображении внешней среды. В математической модели использовано выражение закона Пуассона с различными параметрами, соответствующими определенным временным интервалам работы светофора и динамике изменения дорожной ситуации, учитывающей уменьшение числа транспортных средств в очереди во время зеленой фазы светофора, для равноускоренного и равномерного движения, а также дифференциальные уравнения движения транспортных средств с учетом задержки, обусловленной реакцией водителя.

Ключевые слова: математическая модель, светофор, адаптивное управление, перекресток, микроконтроллер, программное средство

Введение

Современные города покрыты сетью автодорог, обеспечивающих экономические и социальные потребности населения, которые должны обладать высокой пропускной способностью. Но с ростом городского населения и увеличением уровня автомобилизации возникла проблема заторов городских автомобильных дорог (далее – затор). Во многих мегаполисах все чаще стали наблюдаться транспортные коллапсы. Транспортное средство (ТС), стоящее в заторе, причиняет вред не только водителю, теряющему свое время, но также наносит урон окружающей среде, выбрасывая в атмосферу вредные выхлопные газы [1–2].

До недавнего времени основным методом увеличения пропускной способности было строительство и расширение имеющихся дорог, что приводило к большим финансовым и временным затратам. Лишь в конце двадцатого века, с развитием информационных и компьютерных технологий, стали создаваться первые интеллектуальные транспортные системы управления светофорами, призванные минимизировать ожидание водителя на перекрестке.

Заторы транспортных средств, приводят к значительным экономическим потерям, ухудшению экологии, фрустрации участников дорожного движения и другим видам негативных воздействий. Заторы часто возникают в узлах городской транспортной сети, которые являются перекрестками – местами пересечения, примыкания или разветвления дорог городской сети одного уровня.

Проблема временного распределения взаимодействующих транспортных потоков участников дорожного движения является широко распространенной на мировом уровне и до сих пор не имеет окончательно обоснованного и ясного решения. Эта проблема особенно актуальна в городах, где высокая интенсивность движения наблюдается на множестве участков уличной сети, и обеспечить беспрепятственный проход участников движения на всех перекрестках для разных направлений невозможно. Но одной из причин возникновения заторов является неэффективное управление транспортными потоками на перекрестках, которое обеспечивается таким элементом перекрестка как светофор [1–2].

С возникновением первых светофоров появилась необходимость в управлении свето-

форными циклами, чтобы участники дорожного движения не ожидали своей очереди на перекрестках слишком долго. Первоначально светофоры управлялись вручную полицейскими через пульт, встроенный в их корпус. Однако с развитием электроники светофоры оснастили таймерами и реле, что привело к возможности автоматического переключения сигнала. У каждого светофора имелось уникальное расписание переключения, а также особый режим работы в часы пик.

Функцию управления потоками светофор реализует с помощью микропроцессорного контроллера, который переключает цвета светофора, соответствующие фазам разрешения и запрета движения ТС по направлениям дорог перекрестка, согласно заданному алгоритму.

В соответствии с классификацией [3], выделяют локальные и системные контроллеры. Локальные контроллеры управляют движением без учета ситуации на других перекрестках. Системные контроллеры обеспечивают управление с учетом ситуации на других перекрестках. При этом локальные контроллеры подразделяются на реализующие управление с фиксированной длительностью сигналов фаз разрешения и запрета движения в цикле работы светофора, а также на реализующие адаптивное управление – когда продолжительность фаз определяется в зависимости от ситуации, которая сложилась на перекрестке (например, в зависимости от числа ТС в направлениях дорог перекрестка).

Анализ исследований и публикаций

Светофоры существующей транспортной сети, реализующие адаптивное управление за счет локальных контроллеров и создаваемых на их основе более сложных системных контроллеров, обеспечивающих учет ситуации во внешней среде, которая представлена несколькими взаимосвязанными перекрестками, в настоящее время являются одним из важнейших направлений решения проблемы заторов.

Для разработки алгоритмов функционирования контроллеров, реализующих адаптивное управление, используются математические модели, которые отражают ситуации, складывающиеся на перекрестках, и динамику их изменений. При выборе математического аппарата учитывается, как обычно, характер процессов образования ситуаций и динамика их изменений. Поскольку фактор неопределенности имеет существенное значение в рассматриваемых процессах, то в качестве математического аппарата обычно используют такие положения теории вероятности как математическая статистика, системы массового обслуживания, а также нечеткая математика. При этом динамика изменений ситуации должна обуславливаться функционированием светофоров, направленным на уменьшение заторов [4–6].

Цель статьи – разработка математической модели алгоритма функционирования работы микропроцессорного контроллера светофора, формирующегося на основе пропорционального значения длины очереди ТС в каждом направлении перекрестка.

Основные результаты исследования

Совершенствование существующих алгоритмов оперативного реагирования светофоров предполагает увеличение оперативности реагирования светофоров на возникающие ситуации, а также увеличение адекватности отражения ситуаций и динамики их изменений.

Для адекватного отображения внешней среды, неопределенность состояния которой определяется несколькими выражениями закона Пуассона [6] и отличающимися значениями параметров, каждый из которых соответствует определенному суточному интервалу функционирования светофора, необходимо более четко выразить условия стационарности. Динамика изменения дорожной ситуации, которая обусловлена уменьшением числа ТС в очереди за счет проезда перекрестка ТС в период зеленой фазы светофора, определяется на основе выражений, определяющих перемещение тел при равноускоренном и равномерном движении, а также на основе дифференциального уравнения динамики движения ТС в одном ряду

с учетом задержки, обусловленной реакцией водителей.

Объектом исследования является перекресток, схема которого изображена на рисунке 1, с направлениями движения A, B, C, D . Квадратами на рисунке 1 обозначены условные сигналы светофора, регулирующие движение на перекрестке.

Закрашенный квадрат соответствует зеленой фазе светофора. Незакрашенный квадрат соответствует красной фазе светофора.

В разработанной модели используем следующие обозначения числа ТС в очереди перед перекрестком: N_A, N_B, N_C, N_D . По каждому из направлений значения N_A, N_B, N_C, N_D определяют длину очереди в заданных направлениях перед светофором.

Затор ТС обуславливается длиной очереди. Чем больше длина очереди, тем больше времени ТС проведет перед перекрестком. Поэтому для преодоления затора необходимо предусмотреть возможность сокращения длины очереди, начиная с направления (направлений) с максимальным значением длины очереди.

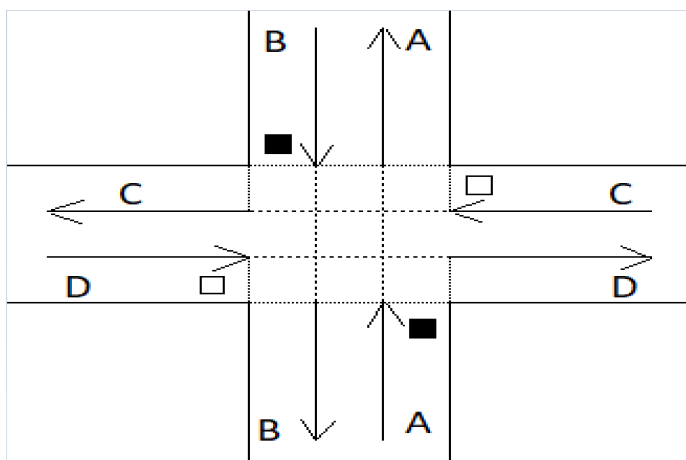


Рисунок 1 – Перекресток с направлениями движения A, B, C, D

Такая возможность может быть предоставлена, если увеличить продолжительность зеленой фазы светофора в направлении с максимальной длиной очереди пропорционально значению длины этой очереди. При этом светофор в цикле своего функционирования продолжит обслуживать все остальные направления перекрестка, назначая время зеленой фазы для них пропорционально значению длины очереди в этих направлениях.

Перекресток, изображенный на рисунке 1, предусматривает одновременный проезд перекрестка ТС на зеленый сигнал светофора с двух направлений: A и B или C и D . Поэтому определение длительности зеленой фазы светофора зависит от значений длины очереди, представляющих собой каждую пару направлений:

$$N_{AB} = \max \{N_A, N_B\}, N_{CD} = \max \{N_C, N_D\}. \quad (1)$$

Временные интервалы длительности зеленых фаз светофора в направлениях AB и CD обозначаем как T_{AB} и T_{CD} .

Если через T обозначить значение временного интервала полного цикла работы светофора, в течение которого для данного случая реализуется проезд перекрестка ТС сначала с направлений A и B или C и D (или наоборот), то

$$T_{AB} + T_{CD} = T, \quad (2)$$

где T является постоянной величиной для управления на перекрестке, рассматриваемом отдельно, и переменной, когда управление реализуется с учетом ситуаций на других перекрестках (системные контроллеры).

Значения T_{AB} и T_{CD} , как составные значения T , выбираем пропорционально значениям длин очередей в соответствующих направлениях:

$$T_{AB} = \frac{N_{AB}}{N_{AB} + N_{CD}}, T_{CD} = \frac{N_{CD}}{N_{CD} + N_{AB}}. \quad (3)$$

Такой выбор значений T_{AB} и T_{CD} удовлетворяет равенству (2) и обеспечивает адаптивный характер управления процессом пропуска ТС через перекресток, поскольку значение длительностей зеленых фаз светофора (3) определяется с учетом длин очередей в каждом цикле функционирования светофора, что сопряжено с уменьшением заторов.

Динамика изменения ситуации на перекрестке в каждом цикле функционирования светофора характеризуется двумя основными процессами: уменьшением очередей в результате проезда ТС перекрестка в период зеленых фаз светофора для данных направлений и увеличением очередей в результате прибытия новых ТС.

Процесс увеличения очередей имеет стохастический характер. Случайный поток новых ТС, прибывающих в очередь в период зеленой фазы работы светофора, удовлетворяет свойствам однородности, отсутствию последействия и стационарности. В связи с этим этот поток является самым простым (Пуассоновским) [6].

При этом для более адекватного учета характеристик стационарности предлагаем суточный период функционирования светофора разбить на части, каждая из которых характеризуется определенным постоянным значением математического ожидания числа новых ТС, прибывающих в очередь.

Таким образом, процесс прибытия новых ТС в очередь предлагаем отразить несколькими кривыми распределения случайного числа новых ТС, прибывающих в очередь, каждая из которых соответствует частям суток работы светофора и характеризуется определенным значением параметра закона Пуассона, равным, как известно, значению математического ожидания.

На рисунке 2 изображен пример нескольких многоугольников распределения случайной величины n числа ТС, прибывающих в некоторый интервал времени μ , которая может принимать целые неотрицательные значения $0, 1, 2, \dots, m, \dots, n$.

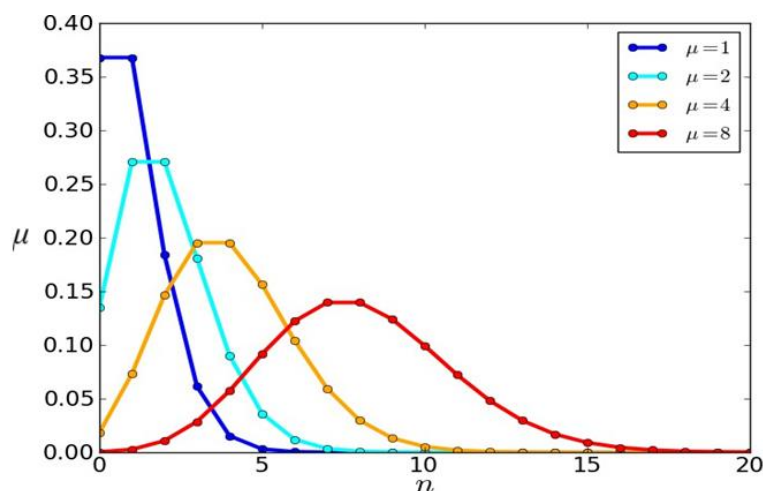


Рисунок 2 – Распределение случайных величин, заданных своими многоугольниками с различными параметрами

Каждый из рассматриваемых многоугольников случайной величины, распределенной по закону Пуассона, отвечает определенному значению параметра a , который равен значению математического ожидания случайной величины. При этом индекс параметра μ на ри-

сунке 2 соответствует индексу части суток работы светофора.

$$P_m = \frac{a^m}{m!} P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a}, \quad (4)$$

где m – это число событий, которое нас интересует;

a – среднее количество событий за единицу времени (или объема);

e – математическая константа, основание натурального логарифма.

Чем больше значение a , тем выше вероятность наступления события. В контексте закона Пуассона m обычно представляет собой случайную величину, обозначающую количество событий за определенный период времени или в определенном объеме пространства. В формуле (4) значение переменной e используется для нормализации распределения, чтобы сумма вероятностей всех возможных значений m равнялась 1.

Для определения конкретного значения случайной величины выбираем определенную кривую закона распределения, исходя из момента времени суток, и далее реализуем известную процедуру жеребьевки [7].

Реализация процедуры жеребьевки позволяет определить значение числа новых ТС, прибывающих в очередь в цикле T работы светофора по направлениям A, B, C, D . Далее эти значения обозначаются как N_A, N_B, N_C, N_D и используются для коррекции значений длин очередей $N_A^i, N_B^i, N_C^i, N_D^i$ по направлениям, которые рассматриваются.

Такая коррекция определяет процесс изменения очередей за счет прибытия новых ТС в течение цикла работы светофора и выражается рекуррентным соотношением:

$$N_a^i = N_a^{i-1} + N_a^i, \quad (i \in \overline{1, I}; a \in A, B, C, D), \quad (5)$$

где i – индекс текущего цикла работы светофора;

I – общее количество циклов работы светофора в сутках;

a – индекс рассматриваемых направлений.

Изменение ситуации на перекрестке в рассматриваемом цикле работы светофора, как отмечалось, характеризуется также процессом уменьшения очередей за счет проезда перекрестка ТС за временные интервалы зеленых фаз работы светофора T_{AB}^i и T_{CD}^i .

Значения T_{AB}^i и T_{CD}^i определяются по выражению (3) на основе длины очередей по направлениям A, B, C, D в предыдущий $(i-1)$ -й цикл работы светофора:

$$T_{AB}^i = \frac{N_{AB}^{i-1}}{N_{AB}^{i-1} + N_{CD}^{i-1}} T^{i-1}; \quad (6)$$

$$T_{CD}^i = \frac{N_{CD}^{i-1}}{N_{AB}^{i-1} + N_{CD}^{i-1}} T^{i-1}.$$

Для определения числа ТС, проезжающих перекресток, и интервалов T_{AB}^i и T_{CD}^i необходимо воспользоваться выражениями, определяющими динамику движения ТС через перекресток.

К таким выражениям относится дифференциальное уравнение движения ТС в одном ряду с учетом задержки [8]:

$$\frac{d^2 x(t + \tau)}{dt^2} = \alpha_i \left(\frac{dx_{k-1}}{dt} - \frac{dx_k(t)}{dt} \right), \quad (7)$$

где $x_k(t)$ – положение k -го ТС, $x_k(t-1)$ – положение $(k-1)$ -го ТС, которое движется перед k -м в направлении x в момент времени t ;

τ – задержка, с которой водитель k -го ТС реагирует на изменение скорости $(k-1)$ -го ТС, движущегося перед ним x ;

α_i – коэффициент чувствительности размерности [1/сек].

Другим способом выражения динамики проезда ТС перекрестка является использование соотношений, определяющих перемещение тел при равноускоренном и равномерном движении [8].

Реализация этого способа предполагает использование характеристик очереди перекрестка для рекомендованного скоростного режима при движении ТС в один ряд через перекресток и при подъезде к нему.

На рисунке 3 представлена очередь ТС перед перекрестком как последовательность участков $k \in 1$, длиной l , где k – порядковый номер ТС в очереди, а длина l включает среднестатистическую длину ТС в очереди и рекомендуемую дистанцию между ТС в очереди.

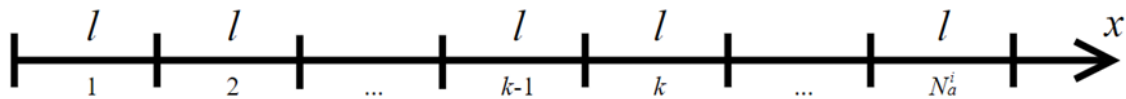


Рисунок 3 – Распределение случайной величины с различными параметрами

Стрелка на рисунке 3 показывает направление движения ТС при включении зеленого сигнала светофора. Предположим, что движение всех ТС, образующих очередь, после включения зеленой фазы светофора по соответствующим направлениям T_A^i реализуется в два этапа – сначала равноускоренное на участке пути движения ТС в очереди длиной S' в течение интервала времени Δt , а затем равномерное, после достижения ТС некоторой рекомендованной (установленной) скорости V . Отметим, что указанные параметры движения удовлетворяют хорошо известному соотношению $V = 2S / \Delta t$ при условии, что начальная скорость равна 0 для всех ТС в очереди [8].

Также предположим, что начало движения каждого последующего ТС в очереди по отношению к предыдущему ТС реализуется с задержкой τ . Таким образом, если первое в очереди ТС ($k = 1$) начинает движение в момент времени $t = 0$, то ТС с индексом $k > 1$ в очереди начинает движение в момент $t = (k - 1) \tau$.

ТС в начале очереди могут начать пересечение перекрестка на этапе равноускоренного движения, не достигнув рекомендованной скорости V , с которой выполняется равномерное движение. Число таких ТС определяем значением индекса $k_1 = \max \{1, N_a^i\}$, для которого выполняется соотношение:

$$\forall k \in \overline{1, k_1} (k-1)l \leq S, T_a^i - (k-1)\tau \geq \Delta t. \quad (8)$$

Если окажется, что $k_1 = N_a^i$, то все ТС в очереди могут начать пересечение перекрестка, реализуя лишь равноускоренное движение.

Если $k_1 < N_a^i$, то ТС в очереди, которые имеют индексы $k > k_1 + 1$, могут начать пересечение перекрестка, реализуя два вида движения – равноускоренное, а за ним равномерное, после достижения скорости V . Таким образом, движение ТС с индексами $k \in k_1 + 1, N_a^i$ реализуется сначала как равноускоренное с ускорением a в течение времени Δt .

Затем, после преодоления расстояния S , реализуется равномерное движение со скоростью V , которое может продолжаться в течение времени $(T_a^i - (k-1)\tau - \Delta t) > 0$. За это вре-

мя k -е ТС преодолет расстояние $V = (T_a^i - (k-1)\tau - \Delta t)$.

Число ТС, которые могут начать пересечение перекрестка, реализуя два вида движения, определяется значением индекса $k_2 = \max\{1, N_a^i\}$, для которого выполняется соотношение:

$$\forall k \in \overline{k_1 + 1, N_a^i} \quad (k-1)l \leq S + V(T_a^i - (k-1)\tau - \Delta t). \quad (9)$$

Пусть, например, на одном из направлений перекрестка α в i -м цикле работы светофора образовалась очередь из 15 ТС, т. е. $N_a^i = 15$. Продолжительность зеленой фазы светофора в направлении α , которая рассчитана на основе (6), определяется значением $T_a^i = 20$ сек. Статистически определено, что $l = 7$ м. Другие указанные выше параметры имеют следующие значения: $S = 20$ м, $\Delta t = 4$ с, $V = 10$ м/с, $\tau = 1$ с.

Изначально, на основе соотношения (8), определяется значение $k_1 = 3$, т. е. только первые три ТС из очереди могут начать пересечение перекрестка, реализуя только равноускоренное движение.

Поскольку $k_1 < N_a^i$, то переходим к определению k_2 на основе соотношения (9). Для рассматриваемого примера $k_2 = 11$.

Таким образом из 15 ТС, образующих очередь, 11 ТС могут начать пересечение перекрестка, совершая равноускоренное и равномерное движение. При этом первые три из 11 могут начать пересечение перекрестка, реализуя только равноускоренное движение.

Значения числа транспортных средств, определяемых индексами по формулам (8) и (9), k_1 и k_2 для каждого направления перекрестка в цикле функционирования светофора, обозначенные как $k_1^i(a)$ и $k_2^i(a)$, позволяют окончательно скорректировать длину очереди перед рассмотрением следующего $(i+1)$ -го цикла:

$$N_a^i = \begin{cases} N_a^i - k_1^i(a), & \text{если } k_1^i(a) = N_a^i \\ N_a^i - k_2^i(a), & \text{если } k_2^i(a) = N_a^i \end{cases}. \quad (10)$$

После коррекции значений N_a^i на основе (10) повторяются действия, связанные с определением длин очередей, длительностей зеленых фаз светофора по направлениям перекрестка на основе выражений (4), (5), реализуемых на следующем $(i+1)$ -м цикле работы светофора.

Выводы

Разработана математическая модель алгоритма функционирования работы микропроцессорного контроллера светофора, который обеспечивает оперативное и адекватное отображение ситуаций на перекрестках. Характерные черты данной модели алгоритма заключаются в быстром отклике на изменения ситуации на перекрестке, посредством корректировки длительности зеленого сигнала в каждом цикле работы светофора, основываясь на длине очереди автомобилей в определенном направлении, что позволяет адекватно учитывать внешние условия.

Список литературы

1. Адаптивное управление светофорными объектами. – Текст : электронный // Спецдорпроект : [сайт]. – URL: <https://www.spetsdor.ru/cases/adaptivnoe-upravlenie-svetofornymi-obektami/> (дата обращения: 25.11.2024).
2. Адаптивная система управления светофорами теперь работает на 10 перекрестках Кемерово. – Текст : электронный // Дром : [сайт]. – 2014. – 11 дек. – URL: <https://news.drom.ru/30855.html> (дата обращения: 17.10.2023).

3. Антониади, Г. Д. Анализ модели задержки автотранспорта М. Дж. Бэкманна / Г. Д. Антониади, В. О. Архипов, А. А. Цуприков // Транспорт: наука, техника, управление. – 2019. – № 2. – С. 61–64.
4. В Петербурге 163 светофора оснастят адаптивным режимом управления. – Текст : электронный // Аргументы и факты : [сайт]. – URL: <https://spb.aif.ru/city/event/1441754> (дата обращения: 25.11.2024).
5. Алгоритмы адаптивного регулирования светофорной сигнализации. – Текст : электронный // Fandom : [сайт]. – URL: <http://surl.li/aysmg> (дата обращения: 12.04.2024).
6. Емелин, А. Распределение и формула Пуассона / А. Емелин. – Текст : электронный // Mathprofi : [сайт]. – URL: http://mathprofi.ru/raspredelenie_i_formula_puassona.html (дата обращения: 28.09.2024).
7. Билялов, Р. Ф. Теория вероятностей и математическая статистика. Лекционный курс и практические занятия / Р. Ф. Билялов. – 2-е изд. испр. и доп. – Казань : Изд-во Казанского государственного университета, 2004. – 138 с.
8. Геворкян, Э. А. Дифференциальные уравнения с запаздывающим аргументом : учебно-методический комплекс / Э. А. Геворкян. – Москва : Евразийский открытый институт, 2011. – 155 с.

А. Г. Федорченко, П. В. Дробный
Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка
Модель алгоритма функционирования циклов светофора
на перекрестках транспортной сети

Предметом исследования является разработка математической модели построения алгоритма функционирования светофора, обеспечивающего адаптивное управление транспортными средствами на перекрестках городской транспортной сети. В процессе функционирования городских транспортных сетей возникают такие явления, как заторы транспортных средств (ТС), которые приводят к значительным экономическим потерям, ухудшению экологии, фрустрации участников дорожного движения и другим видам негативных воздействий. Заторы часто возникают в узлах городской транспортной сети, которые являются перекрестками – местами пересечения, примыкания или разветвления дорог городской сети одного уровня. Одной из причин возникновения заторов является неэффективное управление транспортными потоками на перекрестках, что обеспечивается таким элементом перекрестка как светофор. В рамках существующей транспортной сети светофоры, реализующие адаптивное управление с помощью соответствующих локальных контроллеров, и создаваемых на их основе более сложных системных контроллеров, обеспечивающих учет ситуации во внешней среде, которая представлена несколькими взаимосвязанными перекрестками, в настоящее время является одним из важнейших направлений решения проблем заторов. Функцию управления потоками светофор реализует с помощью микропроцессорного контроллера, который, согласно заданному алгоритму, переключает цвета светофора, соответствующие фазам разрешения и запрета движения ТС по направлениям дорог перекрестка.

В статье предлагается математическая модель для построения алгоритма функционирования микропроцессорного контроллера светофора, который обеспечивает оперативное и адекватное отображение ситуаций на перекрестках. К основным особенностям модели относится оперативность реагирования на изменение ситуаций на перекрестке путем изменения продолжительности разрешительной фазы движения в каждом цикле функционирования светофора пропорционально длине очереди транспортных средств в соответствующем направлении движения; адекватное отображение внешней среды несколькими выражениями закона Пуассона, отличающимися различными значениями параметров, каждый из которых соответствует определенному суточному интервалу функционирования светофора; динамика изменения дорожной ситуации, обусловленная уменьшением числа транспортных средств в очереди за счет проезда перекрестка транспортными средствами в период зеленой фазы светофора, которая определяется на основе выражений, определяющих перемещение тел при равноускоренном и равномерном движении, а также на основе дифференциального уравнения динамики движения транспортных средств в одном ряду с учетом задержки, обусловленной реакцией водителей.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, СВЕТОФОР, АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ПЕРЕКРЕСТОК, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО

A. G. Fedorchenko, P. V. Drobnyi
Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution
of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka
Algorithm Model for the Operation of Traffic Light Cycles at the Transport Network Intersections

The subject of the research is the mathematical model development for constructing an algorithm of the traffic light operation, providing adaptive control of vehicles at intersections of the urban transport network. In the process of functioning of urban transport networks, such phenomena as traffic jams of vehicles arise, which lead to significant economic losses, environmental degradation, frustration of road users and other types of negative impacts. Traffic jams

often occur at nodes of the urban transport network that are intersections – places where roads of the urban network of the same level intersect, join or branch off. One of the reasons of traffic jams is the ineffective management of traffic flows at intersections, which is ensured by such an element of the intersection as a traffic light. Within the existing transport network, traffic lights implementing adaptive control with the help of corresponding local controllers and more complex system controllers created on their basis, taking into account the situation in the external environment, which is represented by several interconnected intersections, are currently one of the most important areas for solving congestion problems. The traffic light's flow control function is implemented using a microprocessor controller, which, according to a given algorithm, switches the colours of the traffic light corresponding to the phases of permission and prohibition of vehicle movement in the directions of the intersection roads.

The article gives a mathematical model for constructing an algorithm for the operation of a microprocessor traffic light controller, which ensures prompt and adequate display of situations at intersections. The main features of the model include the prompt response to changing situations at the intersection by changing the duration of the permissive phase of movement in each cycle of the traffic light operation in proportion to the length of the queue of vehicles in the corresponding direction of movement; adequate display of the external environment by several expressions of the Poisson law, differing in different parameter values, each of which corresponds to a certain daily interval of traffic light operation; the dynamics of changes in the traffic situation caused by a decrease in the number of vehicles in a queue due to vehicles passing through an intersection during the green phase of the traffic light, which is determined on the basis of expressions that define the movement of bodies during uniformly accelerated and uniform motion, as well as on the basis of the differential equation for the dynamics of the movement of vehicles in one row, taking into account the delay caused by the reaction of drivers.

MATHEMATICAL MODEL, TRAFFIC LIGHT, MICROCONTROLLER, ADAPTIVE CONTROL, INTERSECTION, SOFTWARE

Сведения об авторах:

А. Г. Федорченко

SPIN-код: 4105-0754
Телефон: +7 (949) 355-7-388
Эл. почта: fedorchenko@adi-donntu.ru

П. В. Дробный

Телефон: +7 (949) 704-76-72
Эл. почта: allianceworld@yandex.ru

Статья поступила 11.09.2024

© А. Г. Федорченко, П. В. Дробный, 2024

*Рецензент: Н. Н. Дудникова, канд. техн. наук, доц.,
Автомобильно-дорожный институт
(филиал) ДонНТУ в г. Горловка*