

Паращук Е. М., канд. техн. наук, доц.,
Горшкова Н. Г., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

kara1205@mail.ru

Рассматривается задача улучшения экологической ситуации в городах за счет уменьшения выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта как основного источника загрязнения атмосферы мегаполисов. Решение данной задачи связано с внедрением автоматизированных систем управления дорожным движением, обеспечивающих внедрение современных методов регулирования транспортных потоков. Одним из компонентов подобных систем является программное обеспечение, создание которого является актуальной задачей. В статье представлены разработанная программа имитационного моделирования распределения транспортных потоков на основе гидродинамической макромоделли поведения участников дорожной сети и результаты исследования на ее основе алгоритмов управления транспортными потоками дорожной сети, критерием эффективности которых являлась минимизация суммарной задержки автомобилей на регулируемых перекрестках. С использованием данных натурных экспериментов решена задача нахождения параметров светофорной сигнализации конкретного района г. Белгорода по выбранному критерию качества.

Ключевые слова: системы АСУДД, перекресток, светофор, управление, алгоритм, имитационное моделирование, граф, матрица, оптимизация.

Введение. Обеспечение экологического благополучия – одно из важнейших направлений деятельности администрации городских поселений. Повышение экологической устойчивости города выделено как цель Стратегии развития города г. Белгорода до 2025 года [1]. В первую очередь это связано с уменьшением загрязнения атмосферного воздуха, одного из жизненно важных компонентов окружающей среды, неотъемлемой части среды обитания человека.

Главным загрязнителем городской атмосферы остается автотранспорт, на долю которого в крупных городах приходится более 40 % суммарного выброса загрязняющих веществ (ЗВ) от стационарных и передвижных источников [2]. Например, в г. Белгороде удельный вес выбросов автотранспорта в атмосферу составляет 57,8 %, и количество выбросов имеет постоянную тенденцию к возрастанию, а в районе автомагистралей загрязнение атмосферного воздуха оксидом углерода превышает норматив до 5 раз.

Деятельность в указанном направлении предусматривает улучшение условий движения транспортных средств, внедрение современных методов регулирования транспортных потоков, комплексных схем организации дорожного движения, снижение влияния дорожных условий на возникновение дорожно-транспортных происшествий, увеличение пропускной способности улично-дорожной сети.

С учетом нынешней ситуации на дорогах, наиболее перспективным и инновационным решением по совершенствованию организации дорожного движения является развитие автома-

тизированной системы управления дорожным движением (АСУДД), внедрение которой в городах Российской Федерации позволило снизить задержки транспорта на 20–30 %, уменьшить экологически вредные выбросы на 5–7 % и повысить скорость движения на 15–20 % [3].

Отмеченное относится ко всему спектру мероприятий в транспортной сфере, в том числе и к модернизации АСУДД, а эффективность принятых мер по организации движения оценивается с помощью моделирования распределения транспортных потоков и оценке уменьшения выбросов загрязняющих веществ.

Современные АСУДД – это комплекс технических и программных средств, управляемых человеком и компьютером в зависимости от параметров транспортных потоков и состояния воздушной среды в районе управления. Автоматизированная система должна обеспечивать: сбор, хранение и обработку информации о транспортных потоках, экологической обстановке, состоянии улично-дорожной сети (УДС) и осуществлять оптимизированное управление дорожным движением.

Структурно АСУДД представляет собой совокупность упорядоченных приёмов управления и взаимосвязанных элементов, реализующих эти приёмы. Основными компонентами, составляющими эффективно действующую АСУДД, являются: комплекс технических средств; программное (математическое) обеспечение; организационное обеспечение.

Программное обеспечение (ПО) системы состоит из внешнего и внутреннего. В АСУДД внешнее ПО образует набор программ (их часто называют технологическими программами), ре-

ализующих конкретные алгоритмы управления транспортными потоками. В современных АСУДД в качестве программного обеспечения применяются такие импортные пакеты, как TransCad, MINUPT, Synchron, SimTraffic HCS, TRANSYT, CORSIM. Однако, из-за различия в организации движения у нас и за рубежом, применение данных программных продуктов без существенной переделки невозможно, а о применении имитационных программ отечественного производства, решающих задачу построения математических моделей, способных адекватно описывать поведение участников транспортного потока и правильно воспроизводить параметры и характеристики движения для решения локальных задач в настоящее время не известно [4]. Кроме того, зачастую адаптация имеющегося программного продукта оказывается более затратной задачей, чем его разработка.

Для отдельного автомобиля, движущегося вне транспортного потока, удельные (на единицу пробега, г/км) выбросы вредных веществ и расход топлива не одинаковы в разных фазах движения: *при разгоне, движении с постоянной скоростью, замедлении и в режиме холостого хода* [5]. При этом максимальное значение выбросов загрязняющих веществ достигается при работе двигателя на холостом ходу и трогания. Таким образом, при движении автомобилей по дорожной сети частые остановки приводят к повышенному расходу топлива и, как следствие, к повышенным выбросам вредных веществ. Повышение качества работы путем совершенствования светофорного регулирования и учета интенсивности на дороге позволяет уменьшить время простоя автомобилей (время работы на холостом ходу и трогание) в пробках, что приводит к уменьшению загрязнения атмосферы автомобилем.

В г. Белгород с 2001 г. работает АСУДД, программы для которой разрабатывались омским предприятием ЗАО «Автоматика» [4]. Система создавалась для организации дорожного движения в режиме «зеленой волны», то есть без остановок, на проспекте им. Б. Хмельницкого. Скорость движения для попадания в режим «зеленой волны» составляет 60 км/час. Система, контролируемая с пульта ГИБДД, по телефонным кабелям управляет двенадцатью светофорами.

Основными недостатками Белгородской АСУДД с точки зрения управления движением являются: отсутствие обратной связи по интенсивности; наличие только магистрального управления, что не позволяет учитывать влияние прилегающих к магистрали дорог, как при сетевом управлении; также из-за разности рас-

стояния между перекрестками можно пустить «зеленую волну» только в одном направлении.

Поэтому разработка алгоритмов и программных продуктов имитационного моделирования, позволяющих оценить скорость движения, задержки на перекрестках, длину и динамику образования заторов для улучшения организации движения, оптимизации светофорных циклов и т.п. является актуальной задачей.

Методология. В силу того, что моделируемая транспортная система представляет собой двумерную дорожную сеть с большим числом перекрестков, то для ее имитационного моделирования, решающего задачу построения математических моделей, способных адекватно описывать поведение участников транспортного потока и правильно воспроизводить параметры и характеристики движения, использована гидродинамическая макромодель [4], в которой транспортный поток рассматривается как течение «сжимаемой жидкости» со специфическими свойствами, образованной движущимися автомобилями. Данная имитационная модель позволяет оценить скорости движения, задержки на перекрестках, длину и динамику образования заторов.

Гидродинамическая макромодель движения определяется как модель, представляющая средние характеристики транспортного потока, состоящего из автомобилей, каждый из которых имеет следующие основные характеристики [6]: *скорость v* – средняя скорость автомобиля; *плотность ρ* – число автомобилей, занимающих единицу длины полосы движения на дороге в любой данный момент; *интенсивность движения q* – число автомобилей, проходящих любой единичный отрезок дороги в единицу времени.

При рассмотрении потока транспорта на дороге для связи средней скорости автомобиля в потоке и плотностью автомобильного потока использовалась модель Гринберга [6], дополненная фундаментальной диаграммой [7].

В качестве метода привязки модели к улично-дорожной сети (УДС) использовалась математическая граф-модель, в которой на географической подоснове (карте УДС) строится граф, вершины которого отображают узлы УДС, соединенные ребрами. Задаются правила обхода графа – организация дорожного движения.

Основная часть. С целью упрощения построения имитационной модели всей дорожной сети, воспользуемся объектно-ориентированным программированием [8], основой которого является понятие объект – совокупность данных, принадлежащих некоторому абстрактному типу,

определяющему структурные связи между данными, и возможные действия над ними. Разобьем предметную область на следующие основные типы участков: *участок перегона с односторонним движением, перегон, въезд в зону моделирования, выезд из зоны моделирования, нерегулируемый перекресток, регулируемый перекресток*, и опишем каждый из типов объектов, характеризующих эти участки.

Модель участка перегона с односторонним движением. Моделирование макроструктуры транспортного потока (ТП) производится для дорожно-транспортной сети произвольной конфигурации с большим числом перекрестков и перегонов [9]. Поэтому целесообразно представить ТП как непрерывный поток, изменяющий свое значение в пространстве и времени. При этом пространство и время задаются в дискретной форме. Подобное представление позволит реализовать основную цель модели – определение характеристик макроструктуры ТП, являющихся непрерывными (интенсивность q , плотность ρ и средняя скорость v). Точность моделирования будет зависеть от интервалов дискретизации пространства и времени, в которых определяется значение характеристик.

В качестве интервала дискретизации пространства выбран участок перегона с односторонним движением фиксированной длины. С учетом реализации в модели основных соотношений между характеристиками ТП предъявим следующие требования к его поведению на участке [9]:

– ТП представляется в интервале $(t; t+\Delta t)$ на i -м участке действительным числом, соответствующим с точностью до единицы числу транспортных единиц (ТЕ) (или долей ТЕ), находящихся на нем;

– на один интервал времени Δt доля ТЕ на i -м участке не может продвигаться дальше соседнего $i+1$ -го участка;

– доля ТЕ $n_{t,i}$ за интервал времени Δt увеличивается на число ТЕ $\Delta n_{t,i-1}$, пришедшие с $i-1$ -го на i -й участок, т.е. $n_{t+\Delta t,i} = n_{t,i} + \Delta n_{t,i-1}$;

– плотность ТП на i -м участке длиной $L_{y,i}$ в течение одного интервала времени постоянна:

$$\rho_{t,i} = \frac{n_{t,i}}{L_{y,i}};$$

– скорость продвижения ТЕ на $i-1$ -м участке определяется в зависимости от плотности, усредненной по некоторой длине перегона, включающего участок.

Основная процедура, имитирующая продвижение доли ТП с $i-1$ -го на i -й участок:

$$\Delta n_{t,i-1} = \frac{n_{t,i-1}}{L_{y,i-1}} \Theta v_{t,i-1} \Delta t,$$

где Θ – число полос на перегоне.

Требование продвижения каждой доли ТЕ за один интервал Δt на один участок накладывает ограничение на длину всего участка:

$$L_{y,i-1} \geq v_{t,i-1} \Delta t.$$

Это же ограничение удовлетворяет соблюдению условий сохранения массы для ТП:

$$\Delta n_{t,i-1} < n_{t,i-1},$$

то есть число ТЕ, перешедших на соседний i -й участок не может быть больше имеющихся на $i-1$ -м.

Свойство конечности размеров ТЕ, выражающейся в том, что на заданной длине участка может разместиться определенное количество ТЕ, имитируется ограничением:

$$n_{t+\Delta t,i} = n_{t,i} + \Delta n_{t,i-1} \leq \frac{L_y}{l_{TE}},$$

где l_{TE} – средняя длина одной ТЕ.

В качестве среды программирования выбран язык высокого уровня Delphi. Объекты, характеризующие участок дороги, перегон, въезд в зону моделирования (объектный тип TSection), обладают свойствами (максимальная скорость движения, число полос, максимальная плотность, длина перегона, направление выезда, въезд в зону и т.п.), кроме того, для объекта определены методы, т.е. действия, которые можно совершать над объектом, а также приведены процедуры и функции, описывающие методы.

Основной процедурой здесь является моделирование процесса передвижения ТП на участке перегона для одного шага моделирования, ее блок-схема представлена на рис. 1. При добавлении машин на следующий участок проверяется, есть ли там свободное место, в случае его дефицита добавляются не все Δn машин, а только часть из них, причем с текущего участка удаляется такое их количество, которое было добавлено на следующий участок.

Рассмотрим далее модель перегона. При моделировании перегона разобьем его на участки, принцип построения моделей которых описан выше. При этом воспользуемся ограничением на длину каждого участка: $L_y \geq v_{\max} \Delta t$ [9].

Тогда количество участков: $N = \frac{L}{L_y} \geq \frac{L}{v_{\max} \Delta t}$.

Представим перегон как связный список участков. Тогда моделирование процесса движения ТП на перегоне будет заключаться в последовательном моделировании движения ТП на каждом из участков перегона. При этом усреднение плотности ТП для каждого i -го участка будет производиться по трем участкам $i-1$, i , $i+1$ -му, что позволяет имитировать распадение элемента пачки транспортных единиц ТЕ, находящегося на i -м участка, в зависимости от окружающей транспортной ситуации. Действительно, чем больше средняя плотность ТП на перегоне, тем хуже маневренность ТЕ, тем меньшее число транспортных единиц перейдет на $i+1$ -й участок, следовательно, пачка будет распадаться медленнее.

Моделирование процесса передвижения ТП на перегоне для одного шага моделирования представлено блок-схемой, изображенной на

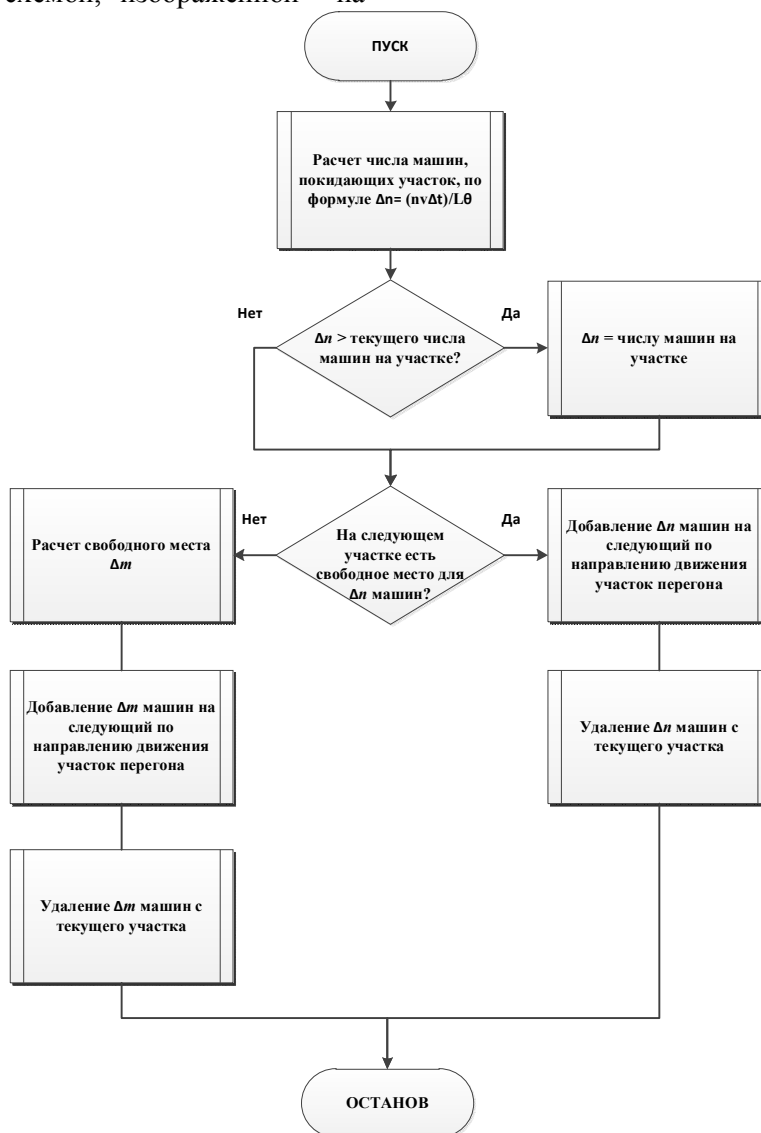


Рис. 1. Блок-схема моделирования процесса передвижения ТП на участке перегона для одного шага моделирования

рис. 2, а. Здесь сначала происходит вычисление скоростей на всех участках прогона, а затем происходит моделирование процесса движения на каждом участке. Передвижение транспортной единицы вдоль ТП в течение одного интервала времени производится последовательно с конца, начиная с шага передвижения $N \rightarrow N-1$ и оканчивая шагом $2 \rightarrow 1$ (N – номер участка).

Объект *въезд в зону моделирования*. При имитации въезда в моделируемую дорожную сеть принимается условие, что входной перегон состоит из двух участков – границы Γ и N -го участка. ТП передвигается только с границы на N -й участок. На границе Γ в течение каждого интервала Δt производится генерация числа $\Delta n_{t,0}$, соответствующего единичной выборке из пуассоновского распределения.

Основной процедурой здесь является моделирование процесса прибытия автомобилей в

зону моделирования. В этой процедуре используется функция, генерирующая случайные числа

с пуассоновским распределением вероятности, блок-схема которой представлена на рис. 2,б.

При имитации *выезда из зоны моделирования* принимается, что выходной перегон состоит

из двух участков – выходного и границы, основное отличие которых заключается в том, что участок, соответствующий границе, не имеет ограничений по вместимости.

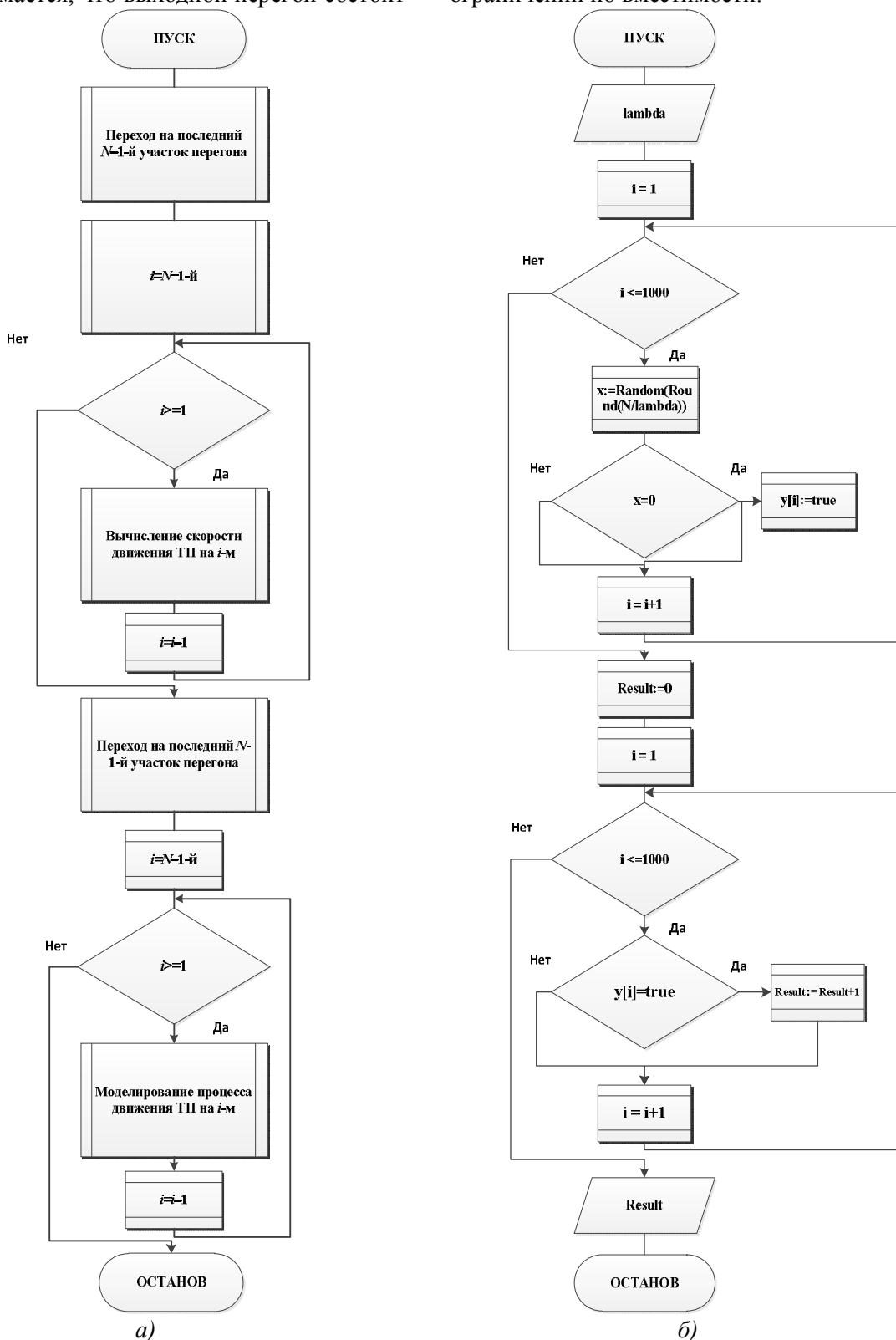


Рис. 2. Блок-схема моделирования процесса передвижения ТП на перегоне для одного шага моделирования (а) и блок-схема функции, генерирующей числа с пуассоновским распределением вероятности (б)

За регулирование движения на *перекрестке* отвечает введенный при объектно-ориентированном программировании объект

TGateWay, который имеет три других типа объектов TWay, отвечающие за направления выхода с перегона или въезда (налево, направо и

прямо). Объект направление выезда TWay имеет свойства:

- часть потока (Portion типа real) – доля ТП, выезжающая в данном направлении;
- возможность выезда (Enabled типа boolean) – возможность передвижения ТП в данном направлении;
- следующий участок (NextSection типа PSection) – указатель на участок перегона или выхода, соответствующий данному направлению.

Движение на регулируемом перекрестке управляется объектом светофор (Traffic), который может разрешать выезд автомобилей с перегона или въезда, устанавливая каждое из свойств Enabled объектов TWay, принадлежащих перегону или въезду, либо запрещать выезд. Объект светофор имеет свойства:

- текущая позиция сигналов: красный, желтый или зеленый (Pos типа integer);
- время, которое прошло от начала включения текущего сигнала, до текущего момента моделирования (Sec типа real);
- периоды включения каждого из сигналов светофора (tPos – массив из 4-х элементов типа real);
- указатели на перегон или въезд, к которому принадлежит светофор (Road типа PRoad; RoadIn типа PRoadIn).

Описание технологии работы с программой. Программа RoadNetSim предназначена для моделирования транспортных потоков улично-дорожных сетей. Программа построена на основе макроскопической гидродинамической модели первого порядка транспортного потока. В главном окне программы расположены *строка меню, карта-схема моделируемой сети, дополнительные кнопки управления и строка состояния*. Пункты меню имеют следующее назначение:

- «Файл» – выход из программы;
- «Карта» – изменение вида (увеличение уменьшение и др. действия);
- «Выполнить» – непосредственная работа с моделью;
- «Параметры» – изменение некоторых параметров моделирования;
- «Справка» – помощь по программе.

При выборе пункта главного меню появляется соответствующее подменю с перечнем команд, определяющих действия при выполнении процедуры моделирования.

Организация работы с дорожной сетью, включающей «Дороги», «Въезды», «Выезды», и «Перекрестки».

«Дороги». Просмотреть параметры моделируемого перегона, можно щелкнув левой кнопкой мыши в соответствующей точке карты (рис. 3).

В *исходных параметрах* указываются те параметры дороги, которые необходимы при инициализации перегона. *Дополнительные параметры* получаются в результате моделирования и в силу стохастичности модели могут различаться для разных опытов. В поле *графики* расположены три закладки со следующими графиками:

- количество машин на каждом участке перегона, а также их общее количество;
- распределение плотности, где плотность на каждом участке указывается в %;
- средние пространственные скорости на каждом участке и текущая средняя интенсивность движения на перегоне.

Аналогично можно просмотреть параметры выезда и въезда в зону моделирования и перекрестки, щелкнув левой кнопкой мыши в соответствующей точке карты. При этом появляется форма с указанием номера въезда и средняя интенсивность прибытия машин или номера выезда и количество выехавших машин из области за время моделирования соответственно, а также параметры светофорной сигнализации регулируемого перекрестка с указанием периода горения сигналов на перекрестке и отображением текущего состояния выбранного светофора.

С использованием разработанной программы реализован алгоритм адаптивного координированного регулирования дорожным движением в пределах микрорайона.

Создание алгоритмов координированного регулирования в пределах микрорайона разбивается на три стадии. На первой стадии производится анализ исходных данных и осуществляется построение графа дорожной сети микрорайона с указанием интенсивностей потоков. На второй стадии вычисляют элементарную задержку каждого потока на перекрестке. На третьей стадии определяют суммарную задержку потоков на сети и оптимизируют ее по параметрам сдвига фаз светофоров смежных перекрестков.

Создание алгоритмов координированного регулирования в пределах микрорайона разбивается на три стадии. На первой стадии производится анализ исходных данных и осуществляется построение графа дорожной сети микрорайона с указанием интенсивностей потоков. На второй стадии вычисляют элементарную задержку каждого потока на перекрестке. На третьей стадии определяют суммарную задержку потоков на сети и оптимизируют ее по парамет-

рам сдвига фаз светофоров смежных перекрестков.

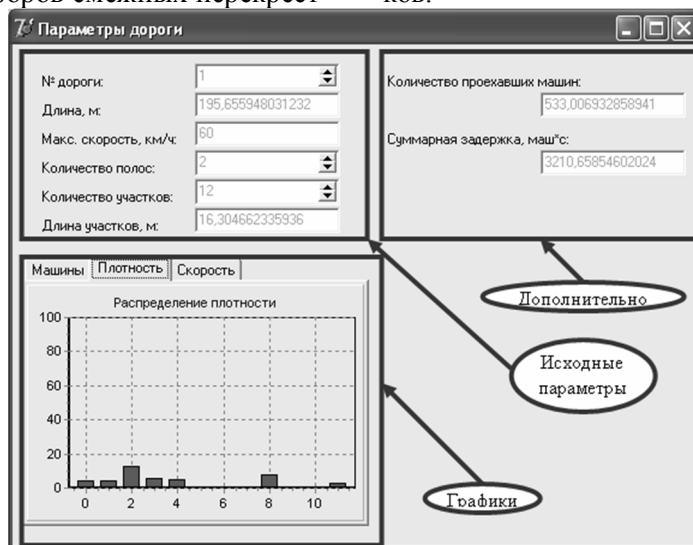


Рис. 3. Просмотр параметров моделируемого перегона

На рис. 4, а в качестве примера приведена схема организации движения с четырьмя перекрестками с указанием интенсивности потоков по каждому направлению. По схеме организации движения может быть составлен граф дорожной сети (рис. 4, б). Каждому пересечению по схеме организации движения будет соответствовать столько узлов в этом графе, сколько тактов регулирования (количество смен сигналов светофора) назначено на пересечении.

Принята двузначная нумерация узлов графа. Первая цифра указывает на номер пересечения в исходной схеме, вторая цифра представ-

ляет собой номер такта регулирования. Единицей обозначены потоки, показанные на схеме (см. рис. 4, б) пунктирной линией, цифрой два – потоки, показанные сплошной линией, цифрой три – обозначены потоки, показанные двойной линией. Рядом с дугами указаны интенсивности потоков, проходящих по ним. Имея граф состояния можно подсчитать суммарную задержку транспорта на всех перекрестках. Задержка на каждом перекрестке составляется из задержек по каждому из потоков, втекающих в узлы этого перекрестка.

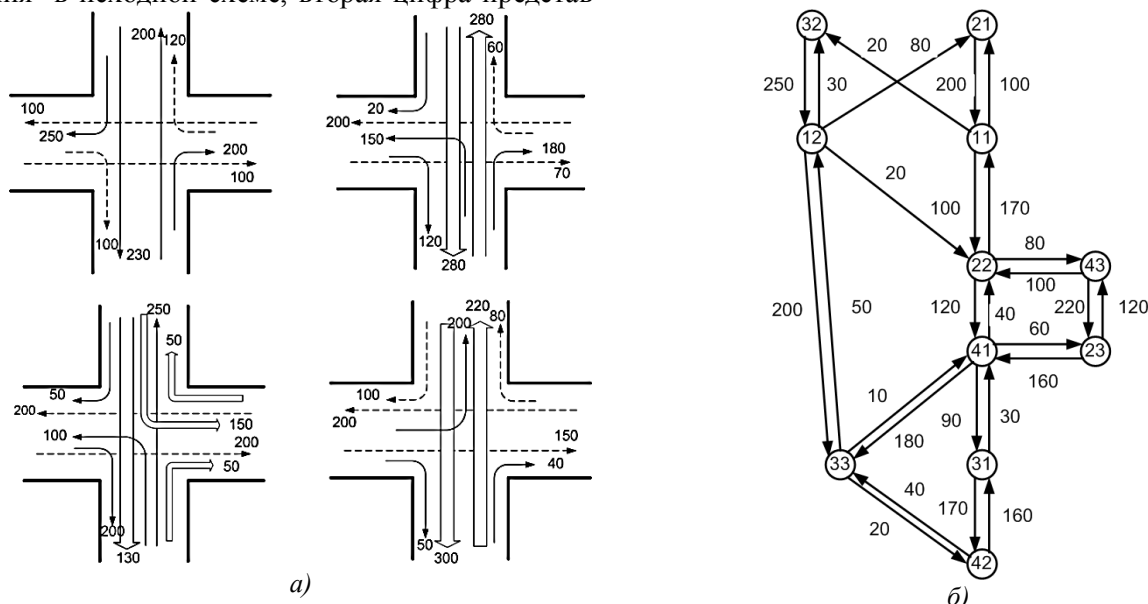


Рис. 4. Схема организации движения (а) и граф состояния системы регулирования (б)

Для расчета режима сдвига фаз на перекрестках использовалась геометрическая модель регулирования системы перекрестков [10]. Для расчета суммарной задержки данный граф был приведен к виду, изображенному на рис. 5.

Для удобства расчета задержек на ЭВМ все связи между вершинами полученного графа представлены в виде матрицы связей (инцидентий) A . Матрица $A=(a_{ij})$ формируется по следующему закону: если между узлами i, j есть связь, то $a_{ij}=1$, в противном случае $a_{ij}=0$. Также состав-

лена матрица интенсивностей и матрица времен движения по каждой дуге графа. Матрица интенсивностей заполняется аналогично матрице связей, но вместо единицы ставится интенсив-

ность на данной дуге, полученная в результате натуральных экспериментов [11, 12]. Аналогично заполняется матрица длительностей движения по дугам.

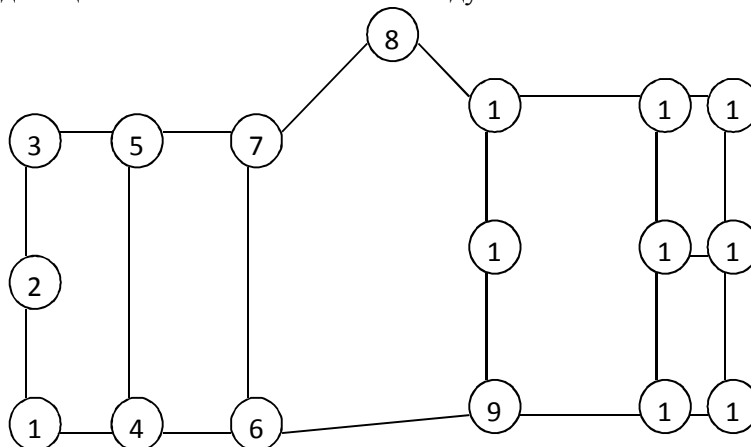
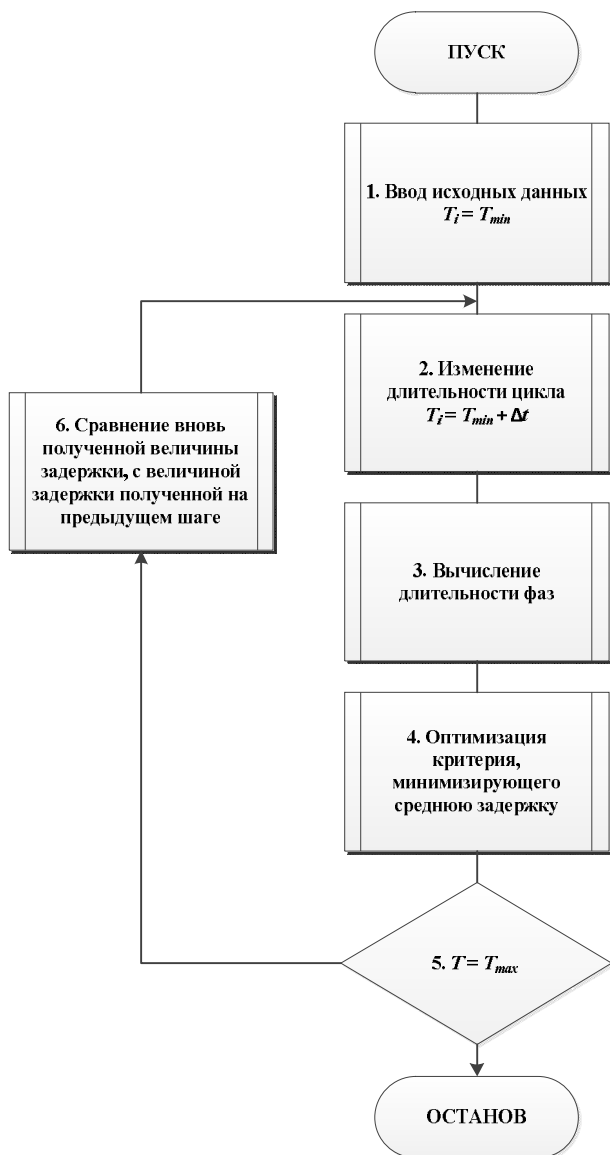
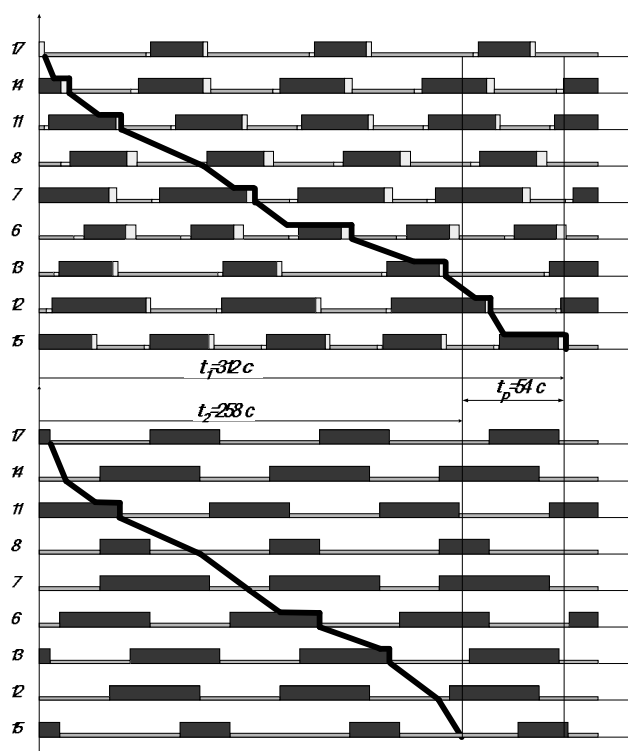


Рис. 5. Граф дорожной сети



а)



б)

Рис. 6. Блок-схема оптимизации задержки потоков на сети (а) и движение по маршруту при изменении сдвигов фаз (б)

В качестве изменяемых параметров при поиске наименьшей задержки использованы следующие параметры светофорной сигнализации:

– набор абсолютных сдвигов:

$\bar{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$, которые отражают сдвиг фазы каждого светофора относительно некоторого базового;

– распределение времени горения красной и зеленой фаз для каждого светофора;

– длительность цикла регулирования T .

Процедура оптимизации осуществляется в соответствии с блок-схемой, изображенной на рис. 6, а.

В 1-м блоке производится ввод исходных данных. В 3-м – вычисление длительностей фаз, и если сумма длительностей фаз оказывается больше времени цикла, то фазы увеличиваются пропорционально их расчетной величине. В 4-м блоке минимизируется критерий, определяющий суммарную задержку, методом целочисленного линейного программирования. В 5-м блоке сравнивается текущее значение времени цикла с максимально допустимым. В следующем, 6-м блоке производится сравнение вновь полученной величины задержки с запомненным на предыдущем шаге работы алгоритма. Если величина только что вычисленной задержки оказывается меньше предыдущей, то она запоминается вместе с соответствующими сдвигами фаз. В противном случае сохраняются предыдущие величины задержки и сдвигов фаз. Работа этого блока завершается передачей управления к блоку 3. Работа программы оптимизации заканчивается, когда текущее значение времени цикла превышает максимальное допустимое.

Для оценки эффективности в качестве примера рассмотрен маршрут движения по перекресткам 17-14-11-8-7-6-9-12-15. Результат проезда по маршруту приведен на рис. 6, б.

При применении найденных параметров в имитационной модели общая суммарная задержка на всех перегонах снизилась на 24,3 % с 223940,6 до 169453,1 автомобилей.

Выводы. В ходе проведения исследований была разработана программа, моделирующая распределение транспортных потоков, в которой в качестве исходных параметров выступали реальные данные натурных экспериментов [11, 12]. Применение алгоритма адаптивного регулирования дорожным движением в пределах микрорайона позволило определить параметры светофорной сигнализации, обеспечивающие снижение суммарной задержки автомобилей на регулируемых перекрестках на 24,3 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об утверждении стратегии развития города Белгорода до 2025 года и плана действий органов местного самоуправления на 2012-2016 годы: решение Совета депутатов города Белгорода от 25.10.2011 г. №531 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sovetdep31.ru/h/press/news> (дата обращения 23.02.2016)
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году: гос. доклад от 8.02.2012 г. // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения 23.02.2016).
3. Организация дорожного движения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.omsis.ru> (дата обращения: 15.02.2016)
4. Семенов В.В. Математическое моделирование транспортных потоков // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.trizland.ru/trizba/pdf> (дата обращения 23.02.2016)
5. Денисов В.Н. Проблема экологизации автомобильного транспорта. СПб.: Изд. Б.И., 2003. 213 с.
6. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением. М: Изд. Транспорт, 1983. 381 с.
7. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса. М: Изд. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2004. 44 с.
8. Золотовицкий А.В. Методы, средства и программный комплекс построения маршрутов в транспортных сетях. Дис. канд. тех. наук. Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2006. 217 с.
9. Капитанов В. Т., Хилажев Е. Б. Управление транспортными потоками в городах. М.: Изд. Транспорт, 1985. 89 с.
10. Васильев А. П., Фримштейн М. И. Управление движением на автомобильных дорогах. М.: Изд. Транспорт, 1979. 321 с.
11. Парашук Е.М., Рубанов В.Г. Автоматизированная система мониторинга воздушной среды как информационная поддержка принятия управляющих решений // Вестник ИрГТУ. 2014. №3. С. 12–20.
12. Парашук Е.М., Коваль В.Н., Прокопенко М.Н. Результаты моделирования распространения выбросов автотранспорта на ограниченной территории города // Экологические системы и приборы. 2007. №3. С. 56–59.

Parashchuk E.M., Gorshkova N.G.**ALGORITHM OF ADAPTIVE TRAFFIC CONTROL**

In this article is considered the problem of improving the ecological situation in the cities by reducing of pollutant emissions from road transport as a major source of air pollution in megacities. The solution of this problem is connected with the implementation of automated traffic control systems to ensure the usage of modern methods of traffic flows regulation. One of the components of such systems is the software, which development is an urgent task. The paper presents the developed simulation software of traffic flows distribution on the basis of hydrodynamic macro model of behavior the participants of the road network and the results of the research on its basis the traffic control algorithms of road network, the efficiency criterion of which is the minimization of cars total delay on the controlled junctions. By using these natural experiments is solved the problem of the parameters finding for traffic light signaling in specific area of Belgorod for the selected quality criteria.

Key words: *automated traffic control system, road, entry, stage, road junction, traffic light, control, algorithm, simulation, graph, matrix, optimization.*

Парашук Елена Михайловна, кандидат техн. наук, доцент кафедры технической кибернетики.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: kara1205@mail.ru

Горшкова Нина Георгиевна, канд. техн. наук, профессор кафедры автомобильных и железных дорог.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: dek-adf@intbel.ru