

РАЗВИТИЕ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ И ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

О.В. Логиновский, А.А. Шинкарев

Рассматривается история создания светофора, автоматическое регулирование его работы. Затронута история развития математических моделей транспортных потоков и их классификация. Показаны достоинства и недостатки бесветофорной организации дорожного движения, а также описаны основные способы информирования участников дорожного движения.

Ключевые слова: дорожное движение, управление, этапы развития.

Введение

Управление и организация дорожного движения – это отрасль научно-технической деятельности, которая развивается довольно давно: от регулировщика и ручного светофора до интеллектуальных транспортных систем и «умных городов». Более чем за век развития подходов к управлению и организации движения ученые и инженеры постоянно сталкивались с проблемой быстрого роста количества автотранспорта, что способствовало усложнению и совершенствованию методов борьбы с пробками, загрязнением воздуха, ухудшающейся ситуацией безопасности на дорогах и т. д.

В настоящее время теория и практика организации и управления движения транспорта находятся на довольно высоком уровне развития. Проработаны математические основания и теории, позволяющие имитировать транспортные потоки и проводить анализ получаемых результатов. Внедрены многие математические модели и частично решены задачи прогнозирования ситуации на дороге, расчета предельной пропускной способности заданного участка дорожной сети и т. д.

В то же время были проработаны и внедрены концепции умного города и интеллектуальных транспортных систем.

Наряду с логистическими путями организации движения также развивается и испытывается такой подход, как бесветофорная организация дорожного движения.

Сколь бы ни были высоки уровень развития и разнообразие методов организации и управления дорожным движением, но во многих крупных городах вопросы оптимизации дорожного движения до сих пор решаются без использования новейших разработок в сфере регулирования работы дорожно-транспортной сети. Причиной тому – высокие цены на подобные программные и программно-аппаратные комплексы, а также большие усилия и солидные капиталовложения, которых требует внедрение подобного рода систем.

Для крупных городов с ограниченным бюджетом и уже существующими проблемами в организации и управлении движения транспорта можно посоветовать применение максимально простых в эксплуатации и обучении персонала, а также не требующих долгосрочного внедрения программных продуктов.

Что же касается городов с достаточным финансированием, то на данный момент у них есть обширный выбор средств уменьшения нагрузки на транспортную инфраструктуру, снижения издержки перевозки пассажиров и грузов, повышения пропускной способности тех или иных «узких» мест в сети города.

1. Светофорное регулирование дорожного движения

1.1. История возникновения светофора

Первый прибор, регулирующий движение, появился в 1868 г. в Англии, его изобретатель – Д.П. Найт, который был специалистом по железнодорожным семафорам. Светофор управлялся вручную и имел два положения, первое разрешало движение с осторожностью, а второе запрещало движение. Со временем семафорные крылья заменили газовыми трубками, но после происшествия 1896 г., когда газовый фонарь светофора взорвался, ранив управляющего светофором полицейского, о светофорном регулировании забыли почти на пятьдесят лет.

Первая система светофоров, способная к автоматическому переключению без непосредственного участия человека, была разработана и запатентована в 1910 г. Э. Сиррином. Его светофор использовал надписи Proceed и Stop, которые не имели подсветки.

Изобретателем электрического светофора считается Л. Вайр. В 1912 г. он разработал, но не запатентовал светофор с двумя круглыми электрическими сигналами – красным и зеленым. 5 августа 1914 г. Американская светофорная компания установила на перекрестке в Кливленде четыре электрических светофора конструкции Д. Хога. У них были красный и зеленый сигналы, а при переключении издавался звуковой сигнал. Система управлялась полицейскими, которые сидели в стеклянной будке на перекрестке.

В 1920 г. в Детройте были установлены трехцветные светофоры, использующие желтый сигнал, чьими авторами были У. Поттс и Д.Ф. Харрис.

В Европе аналогичные светофоры впервые были установлены в 1922 г., а в Англии – в 1927 г.

В СССР первый светофор установили в 1930 г. в Ленинграде. В Москве первый светофор появился 30 декабря того же года.

До 1956 г. на регулируемых перекрестках Москвы стояли электрические светофоры, требующие для переключения сигналов непосредственного участия милиционеров.

Во второй половине пятидесятых годов в Москве появились первые автоматические светофоры, которые работали в соответствии с заданной программой. А вскоре на базе этих умных светофоров нашими инженерами была создана первая система координированного управления – центральная автоматическая светофорная станция.

В середине девяностых годов были изобретены зеленые светодиодные светофоры с достаточной яркостью и чистотой цвета, и начались эксперименты со светодиодными светофорами [1].

1.2. АСУДД и светофоры

В современных автоматизированных системах управления дорожным движением широко используется информация от видеокамер, входящих в состав подсистем видеоконтроля. Полученная от них информация позволяет организовать оптимальное управление транспортными потоками, скоординировать работу ключевых транспортных узлов города, проводить анализ различных закономерностей при определенных управляющих воздействиях. Преимуществом систем видеоконтроля является сочетание числовой и визуальной информации, которая радикально отличает их от других систем наблюдения.

Системы видеоконтроля, ориентированные на транспорт, предоставляют данные трех типов:

1) информация о трафике для статистической обработки:

- общее число обнаруженных автомобилей;
- скорость;
- ускорение транспортного потока;
- плотность потока;
- занятость полос движения;
- классификация автомобилей;

2) информация о происшествиях на дороге:

- высокая скорость, плотность потока или занятость полос;
- наличие заторов или движения по встречной полосе;
- остановившиеся или медленно движущиеся автомобили;
- наличие на дороге подозрительных предметов;

3) информация о наличии/отсутствии автомобилей:

- наличие приближающихся автомобилей;
- наличие автомобилей, остановившихся на перекрестке;
- число автомобилей, проехавших через зоны обнаружения;
- измерение длины очереди.

По опыту зарубежных стран последний тип информации широко применяется в системах управления светофорами [1].

Если же нет необходимости в визуальном подтверждении дорожной ситуации при помощи видеокамер, то можно обойтись и куда более дешевыми средствами получения информации об интенсивности дорожного движения и плотности потока. Ведь на основании именно этих данных производятся основные расчеты параметров дорожно-транспортной сети. К тому же програм-

мное обеспечение, определяющее интенсивность и плотность является довольно дорогим, а в случае самостоятельного производства требует программистов высокой квалификации.

В любом случае, данные, получаемые от систем анализа потока, попадают в математическую модель, которая на основе этой информации делает прогноз ситуации в будущем и позволяет получить дополнительный отчет о состоянии дорожной ситуации.

2. Обзор основных методов математического моделирования транспортных потоков

Основы математического моделирования закономерностей дорожного движения были заложены в 1912 г. русским ученым, профессором Г.Д. Дублиром.

Первостепенной задачей, послужившей развитию моделирования транспортных потоков, стал анализ пропускной способности магистралей и пересечений. В специальной литературе встречаются такие модификации понятия пропускной способности как теоретическая, номинальная, эффективная, собственная, практическая, фактическая и другие. В настоящее время пропускная способность является важнейшим критерием оценки качества функционирования путей сообщения.

Первая макроскопическая модель, в которой движение транспортного потока рассматривалось с позиции механики сплошной среды, была предложена в 1955 г. Лайтхиллом и Уиземом. Они показали, что методы описания процессов переноса в сплошных средах могут быть использованы для моделирования заторов.

Выделение математических исследований транспортных потоков в самостоятельный раздел прикладной математики впервые было осуществлено Ф. Хейтом.

В 60–70-е гг. вновь возник интерес к исследованию транспортных систем. Эта заинтересованность проявилась в том числе в финансировании многочисленных контрактов, обращении к авторитетным ученым – специалистам в области математики, физики, процессов управления, таким как нобелевский лауреат И. Пригожин, специалист по автоматическому управлению М. Атанс, автор фундаментальных работ по статистике Л. Брейман. В нашей стране движение автотранспорта активно изучалось в конце 70-х гг. в связи с подготовкой к Олимпийским играм 1980 г. в Москве. Результаты этих исследований неоднократно докладывались на научно-исследовательском семинаре И.И. Зверева на механико-технологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова [2].

Одна из математических моделей организации движения транспортных потоков на улично-дорожной сети города как системе взаимосвязанных перекрестков была предложена О.В. Логиновским в конце 70-х гг. прошлого века [3].

В конце 80-х – начале 90-х гг. в США проблемы исследования транспортных систем были возведены в ранг проблем национальной безопасности. К решению этой задачи были привлечены лучшие физики и компьютерная техника Национальной исследовательской лаборатории Лос-Аламос.

В итоге, в моделировании дорожного движения исторически сложилось два основных подхода – детерминистический и вероятностный (стохастический).

В основе детерминированных моделей лежит функциональная зависимость между отдельными показателями, например, скоростью и дистанцией между автомобилями в потоке. В стохастических моделях транспортный поток рассматривается как вероятностный процесс.

Все модели транспортных потоков можно разбить на три класса: модели-аналоги, модели следования за лидером и вероятностные модели.

В моделях-аналогах движение транспортного средства уподобляется какому-либо физическому потоку (гидро- и газодинамические модели). Этот класс моделей принято называть макроскопическими.

В моделях следования за лидером существенно предположение о наличии связи между перемещениями ведомого и головного автомобиля. По мере развития теории в моделях этой группы учитывалось время реакции водителей, исследовалось движение на многополосных дорогах, изучалась устойчивость движения. Этот класс моделей называют микроскопическими.

В вероятностных моделях транспортный поток рассматривается как результат взаимодействия транспортных средств на элементах транспортной сети. В связи с жестким характером ограничений сети и массовым характером движения в транспортном потоке складываются отчетли-

вые закономерности формирования очередей, интервалов, загрузок по полосам дороги и т. п. Эти закономерности носят существенно стохастический характер.

В последнее время в исследованиях транспортных потоков стали применять междисциплинарные математические идеи, методы и алгоритмы нелинейной динамики [2].

Наряду с автоматизированным управлением работой регулируемых перекрестков, целью которого является достижение максимальной пропускной способности узлов транспортной сети и уменьшение издержек участников дорожного движения, существует подход к организации дорожного движения на участках пересечения без использования светофоров.

3. Бессветофорная организация дорожного движения

Бессветофорное движение – концепция организации дорожного движения, основанная на том, что на некоторых видах перекрестков (Т-образный перекресток с односторонней главной дорогой и двусторонней второстепенной, Y-образный с круговым движением) для безопасного разезда автомобилей не требуется светофор (траектории транспортных средства пересекаются исключительно во время перестроения) [4].

При подобной организации движения пешеходы пропускаются с помощью подземных переходов или вызывных светофоров.

Решение вопроса организации бессветофорного движения городских дорожно-транспортных средств в двухмерном пространстве в рамках действующих норм и правил упирается в обеспечение условий, при которых траектории непрерывно движущихся объектов могут пересекаться только при их перестроении. Этот способ актуален не только для строящихся и быстро развивающихся городов, но может также с успехом применяться для оптимизации дорожного движения крупных городов.

Специалисты по планированию и проектированию городских транспортных потоков в Германии, Дании и Голландии провели эксперимент под названием «Голые улицы» с введением неуправляемых улиц и перекрестков и нашли их более эффективными по сравнению с традиционными моделями. Как показала практика, водители тратят меньше времени на поездки, а в часы пик на дорогах реже создаются пробки. Идея проекта заключается в том, что вместо регулируемых светофоров и дорожных знаков, участники движения используют невербальный контакт друг с другом. Таким образом, неограниченные ничем водители и пешеходы становятся более осторожными и внимательными, обостряются их чувства, просыпается внутренняя дисциплина.

Во многих развивающихся странах нерегулируемое дорожное движение – неотъемлемая часть городской жизни. В перегруженных транспортных потоках Бали и Индонезии водители транспортных средств и пешеходы игнорируют знаки и светофоры, и, тем не менее, вполне безопасно передвигаются, полагаясь на негласные правила и свое чутье. Конечно, подобная система чаще всего работает в местах с медленным трафиком и обилием пешеходов [1].

По данным проведенных исследований бессветофорная организация движения действительно может оказаться более эффективной по сравнению с традиционными моделями. Но подобный подход может быть внедрен лишь в городах, где органы местного самоуправления имеют достаточно сильную политическую волю, ведь зачастую принятие модели такого рода требует больших капиталовложений, а также длительной и зачастую болезненной реконструкции существующей дорожной инфраструктуры.

4. Способы информирования участников дорожного движения

Наряду с методами организации архитектуры дорожно-транспортной сети и технологиями интеллектуального регулирования дорожного движения не последнюю роль в борьбе с основными проблемами перегруженной транспортной инфраструктуры играют методы информирования участников дорожного движения о текущей ситуации на дорогах. Они позволяют водителям принимать более взвешенные решения при выборе маршрута, что в целом положительно влияет на равномерность распределения нагрузки на транспортную сеть.

Информирование участников дорожного движения о дорожной ситуации вполне успешно работает во многих странах. При перегрузке основных улиц предоставляются сведения об объездных маршрутах, в том числе доступна информация о парковках, разрешенных направлениях движения, где также могут быть указаны названия районов и улиц. Передающими информацию

элементами служат многопозиционные дорожные знаки, световые табло с обновляемой информацией, а также специальные видео- и радиоканалы.

На данный момент уже существуют технологии, которые позволяют объединять транспортные средства в единую сеть, используя встроенные в них компьютерные чипы. Созданы специальные радары и приборы радиопредупреждения, которые помогают избежать столкновения на дороге. В процессе внедрения – технологии, позволяющие блокировать запуск двигателя автомобиля, в случае если водитель находится в состоянии алкогольного или иного опьянения. Спутниковые технологии, разнообразные навигационные системы и системы определения местонахождения транспортного средства становятся обычным явлением, помогая водителю находить дорогу в незнакомом городе или вызывать помощь простым нажатием кнопки. Широкое распространение получают устройства, автоматически уведомляющие экстренные службы в случае срабатывания подушек безопасности, угона транспортного средства и т. д.

Одна из британских компаний разработала «транспортные видеокамеры», которые должны повысить безопасность на дорогах прежде всего за счет регулирования скорости потока транспортных средств. Новые устройства представляют собой вмонтированные в дорожное полотно светящиеся маячки, которые при помощи видеокамеры определяют скорость автомобилей, износ их покрышек и идентифицируют номерные знаки. Когда скорость приближающегося автомобиля измерена, устройство начинает работать подобно светофору – светодиоды подают автомобилистам световые сигналы от красного до зеленого.

С начала 2006 г. в Японии на автомобилях появились «умные» номера, оснащенные встроенным микрочипом, запоминающим и передающим информацию о владельце, номере автомобиля, месте регистрации и размере. Целью эксперимента является ограничение с помощью современных технологий скопления автомобилей в час пик на центральных магистралях японских городов. В перспективе владельцам автомобилей, желающим попасть в центр города в час пик, придется оплачивать въезд. Власти Японии планируют полностью автоматизировать процесс списания платы с электронного чипа, который будет установлен в каждый автомобиль.

В США силами правительства и компаний IBM, Chrysler и Nissan планируется внедрение светофоров, способных сообщать водителям, какой скорости им необходимо придерживаться, чтобы попасть в так называемую зеленую волну.

Одной из проблем, которую решает организация и регулирование дорожного движения, являются пробки на дорогах.

Проблема пробок остро стоит во многих странах мира и попытки ее разрешить многочисленны и разнообразны [6].

Во многих странах Европы и Японии созданы системы, которые следят за состоянием дорог и передают информацию об их загруженности непосредственно на приборную доску автомобиля. Располагая такими сведениями, водитель может видеть проблемные участки и предпринимать действия по их объезду.

Английская фирма IT IS экспериментирует с системой определения загруженности дороги по сигналам сотовых телефонов. В настоящее время практически каждый человек имеет как минимум один мобильный телефон. А операторы сотовой связи всегда следят за местонахождением мобильных устройств, тем самым могут предоставлять информацию по концентрации аппаратов в том или ином месте, что, в свою очередь, дает потенциальную возможность отслеживать интенсивность, плотность и другие характеристики транспортных потоков. Таким образом, с решением проблемы отсеивания мобильных устройств, которые принадлежат велосипедистам и пешеходам, получится система, предоставляющая вполне достоверные данные об интенсивности движения в определенных районах, без необходимости оборудовать дороги дорогостоящими датчиками, которые бы определяли параметры транспортных потоков города.

В городе Редмонд (США) фирма Microsoft создала систему прогнозирования пробок. По телефону или через Интернет водитель, введя данные о поездке, может получить прогноз состояния интересующих его трасс. Указываются вероятные места пробок. Для прогноза используются как данные о состоянии загруженности дорог, поступающие в реальном времени, так и сведения, накопленные в прошлом. Учитываются также погода, календарь выходных и праздничных дней и даже массовые мероприятия. Достоверность прогнозов, которыми ежедневно пользуются более 3000 сотрудников фирмы Microsoft, достигает 75 %.

Несколько групп исследователей США и Германии считают, что бороться с дорожными пробками можно на уровне отдельного автомобиля. Многие современные автомобили оборудованы системой круиз-контроля, которая позволяет поддерживать заданную скорость движения автоматически. Снабдив данную систему радаром, который следит за расстоянием до впереди едущего автомобиля, автомат получает возможность при необходимости снижать скорость автомобиля, например, если расстояние до впереди едущего транспортного средства опасно мало для данной скорости. Подсчитано, что если бы все машины на дорогах США были оборудованы этим так называемым адаптивным или активным круиз-контролем, число ежегодных столкновений на дорогах страны уменьшилось бы на 12000.

У адаптивного круиз-контроля есть дополнительный эффект: он делает движение потока машин более плавным. Там, где человек резко останавливает машину, автомат снижает скорость постепенно. Компьютерное моделирование показало, что достаточно снабдить адаптивным круиз-контролем 20 % транспортных средств, чтобы полностью устранить некоторые типы заторов.

В борьбе с пробками, особенно в крупных городах, применяют различные методы. Наиболее характерными из которых являются следующие:

- система Carpool, при которой парк автомобилей находится в совместном пользовании сразу нескольких водителей и применяется в различных формах;
- система управления парковками (платные парковки, ограничения на парковку);
- развитие сети городского общественного транспорта: строятся новые станции метрополитена, увеличивается протяженность маршрутов наземного общественного транспорта;
- автоматизированная система управления дорожным движением, которая регулирует работу светофоров, имеющих автоматически переключающиеся программы в зависимости от времени суток;
- платные дороги, тоннели;
- платный въезд большегрузного транспорта;
- информационные табло, на которых размещена информация о ближайших заторах, авариях, ремонтах;
- новые многоэтажные развязки, разгрузочные экспресс-шоссе;
- навигационные устройства, на которых через спутник отражается информация о ситуации на дорогах и предлагаются оптимальные варианты движения к цели;
- строительство скоростных магистралей;
- для автобусов и легковых автомобилей с загрузкой более одного человека выделяют особые полосы движения, отделенные разметкой или невысокими бордюрами, позволяющие объезжать дорожные заторы в часы пик.

Существенно изменить дорожную ситуацию можно на основе применения современных методов организации движения транспорта и пешеходов, позволяющих повысить эффективность функционирования дорожно-транспортной системы. Качественная организация движения транспортных средств на улицах и дорогах позволяет во многих случаях создать необходимые условия для бесперебойной перевозки пассажиров и грузов.

Ограничение доступа транспортных средств на определенные территории города, введение жилых и пешеходных зон, запрет или ограничение движения грузового транспорта, зональные ограничения скорости, реверсивное регулирование движения, адаптивное сетевое управление транспортными и пешеходными потоками с использованием АСУД, информационное обеспечение участников движения – все эти методы и технические средства организации дорожного движения, применяемые на практике, недостаточно гибко реагируют на состояние дорожного движения.

Внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением позволяет сократить задержки в движении транспорта на 20–25 %, сократить время поездки на 10–15% и уменьшить вредные выбросы на 5–10 %. Интересным решением оптимизации движения транспортных потоков является внедрение новых современных методов управления дорожным движением.

В целом всю стратегию местных властей по борьбе с чрезмерной загруженностью дорог можно разделить на три взаимосвязанных блока. Во-первых, это меры, которые призваны стимулировать отказ от пользования личными автомобилями в пользу общественного транспорта. Во-вторых, создание эффективной инфраструктуры дорог для быстрого передвижения тех, кто пре-

небрег советами и сел за руль личного авто. В-третьих, разработка системы доступного каждому автомобилисту информирования о ситуации на дорогах, которая позволяет объехать пробки [5].

Заключение

Проследив основные тенденции развития подходов к управлению и организации дорожного движения, можно утверждать, что это поле научно-технической деятельности активно развивается как в отношении методов построения архитектуры транспортной сети, так и в отношении программного и технического обеспечения интеллектуальных систем интегрированных в дорожную инфраструктуру городов.

Изучив историю развития светофорного регулирования, а также возникновение полностью противоположной концепции бесветофорной организации движения, можно отметить, что простор для обоснованного выбора способа организации и управления дорожной сетью существует. Добавив сюда возможности развития городского пассажирского транспорта, использования АСУД, введения понятия платной дороги, строительства многоэтажных дорожных развязок и многого другого, получим, что руководство любого крупного населенного пункта может найти все необходимые методы и средства мониторинга ситуации на дорогах, борьбы с пробками, загрязнением воздуха, чрезмерной концентрацией транспортных средства в историческом центре города и т. д.

В качестве же текущего и будущего направления развития организации и управления движением стоит считать тотальную интеграцию дорожной инфраструктуры с программно-техническими комплексами управления транспортной обстановкой и участниками дорожного движения. Таким образом, получаем единое информационное пространство, в котором водитель играет роль не только реципиента управляющих воздействий, но и непосредственного участника процесса поддержания баланса оптимальной загрузки дорожно-транспортной сети города.

Литература

1. АСУД и светофоры. – http://www.fcp-pbdd.ru/special_equipment/20043/ (дата обращения 13.06.2014).
2. Семенов, В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / В.В. Семенов. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2004. – 44 с.
3. Логиновский, О.В. Оптимальное развитие системы пересечений магистралей города / О.В. Логиновский / Известия высших учебных заведений. Архитектура и строительство. – 1978. – № 8. – С. 62–68
4. Совершенствование организации дорожного движения в г. Москве / Газета ГУВД Москвы «Петровка 38». – № 32. – 2009.
5. Борьба с пробками в различных странах. – <http://instanswer.ru/vneklassnaya-rabota/obuchenie/borba-s-probkami-v-razlichnykh-stranakh> (дата обращения 20.07.2014).
6. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / под ред. А.В. Гасникова. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.

Логиновский Олег Витальевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); iaou@susu.ac.ru.

Шинкарев Александр Андреевич, инженер-программист ООО «741 Студиос.ру» (г. Челябинск); sania.kill@mail.ru.

Поступила в редакцию 15 августа 2014 г.

EVOLUTION OF CITIES TRAFFIC SUPERVISION AND MANAGEMENT APPROACHES

O.V. Loginovskiy, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
iaou@susu.ac.ru,

A.A. Shinkarev, LLC "741 Studios.ru", Chelyabinsk, Russian Federation,
sania.kill@mail.ru

This paper describes a history of light signal creation, automatic control of its work. Also traffic flow mathematical models evolution history and classification are touched upon. The merits and demerits of road architecture without traffic light signals are given and also methods of informing of road users about various situations on the road are described.

Keywords: traffic, management, evolution stages.

References

1. *ASUD i svetofory* [Automated Control Systems for Movement and Light Signals]. Available at: http://www.fcp-pbdd.ru/special_equipment/20043/ (accessed 06.13.2014).

2. Semenov V.V. *Matematicheskoe modelirovanie dinamiki transportnykh potokov megapolisa* [Mathematical Modeling of Metropolis Traffic Flows]. Moscow, Keldysh Institute of Applied Mathematics, 2004. 44 p.

3. Loginovskiy O.V. [Optimal Way of Highways Crossing System Evolution in City]. *Higher Educational Establishment News. Architecture and Construction*, 1978, no. 8, pp. 62–68. (in Russ.)

4. *Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya v g. Moskve* [Traffic Management Improving in Moscow]. *Newspaper "Petrovka 38" of Moscow Department of Internal Affairs*, 2009, no. 32.

5. *Bor'ba s probkami v razlichnykh stranakh* [Struggle with Traffic Jams in Different Countries]. Available at: <http://instanswer.ru/vneklassnaya-rabota/obuchenie/borba-s-probkami-v-razlichnykh-stranakh/> (accessed 07.20.2014).

6. Gasnikov A.V. (Ed.) *Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov: ucheb. posobie* [Introduction in Mathematical Modeling of Traffic Flows: Training Manual for High Schools]. Moscow, MIPT Publishing, 2010. 362 p.

Received 15 August 2014