

Полищук В.П., д.т.н.

Национальный транспортный университет, г. Киев

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

Рассматриваются основные применяемые критерии эффективности автоматизированных систем управления дорожным движением. Также рассматриваются основные целевые функции управления, позволяющие осуществлять эффективное управление.

Постановка научной проблемы и решаемые задачи

Развитие автомобильного транспорта — одно из важнейших достижений технического прогресса XX–XXI столетий. Сегодня нет такого уголка в мире, где бы автомобиль не стал органическим и крайне необходимым элементом экономической и общественной жизни страны. Без автомобильного транспорта трудно сейчас представить развитие какой-либо отрасли народного хозяйства.

Наряду с большой пользой, которую несет обществу развитие автомобильного транспорта, на многих магистралях возникают проблемы, связанные с чрезмерным скоплением автомобилей, с перенапряжением движения, в результате чего преимущества от использования автомобильного транспорта снижаются. Одна из них заключается в том, что скопление автомобилей на дорогах и улицах влечет за собой снижение скорости движения, способствует образованию заторов, что, в свою очередь, обуславливает потери времени, увеличивает себестоимость перевозок, снижает производительность автомобильного транспорта.

Чем насыщеннее некоторый район автомобилями, чем больше в нем плотность населения, тем чаще происходят на автомобильных дорогах столкновения автомобилей, наезды на пешеходов и другие дорожно-транспортные происшествия.

Рассмотрение и решение перечисленных проблем предполагает повышение экономичности, безопасности и комфортабельности движения, рациональное планирование затрат на улучшение дорожных условий. Все эти вопросы наиболее эффективно способна рассмотреть сравнительно новая отрасль знаний, получившая наименование «организация дорожного движения» и включающая в себя планирование дорожных сетей, проектирование геометрии дорог, планировочные решения по размещению дорожных сооружений, а также управление движением транспортных потоков [1, 2].

Научной основой организации движения на автомобильных дорогах являются исследования основных законов движения потока транспорта в различных, но типичных дорожных условиях. Базой таких исследований являются статистические наблюдения за скоростью, интенсивностью и плотностью движения, математическое моделирование транспортных потоков, статистика дорожно-транспортных происшествий.

В свете современных идей организации движения это проектирование оптимального или рационального уже существующего биотехнического комплекса, включающего в себя множества автомобилей, водителей, пассажиров, пешеходов, окружающую среду и в первую очередь автомобильную дорогу. Совершенно очевидно, что речь идет о сложной системе, а организация дорожного движения возможна на основе системного подхода к решению перечисленных задач.

Именно отсутствием надлежащего системного подхода можно объяснить отсутствие в нашей стране специальных научных, методических и организационных центров, а также специальной администрации по организации дорожного движения в целом.

Цель работы

Целью работы является рассмотрение основных критериев эффективности функционирования автоматизированных систем управления дорожным движением с помощью системного подхода.

Основная часть

Транспортные потоки на автомобильных дорогах движутся в постоянно изменяющихся условиях. Эти изменения происходят из-за сезонных и суточных колебаний интенсивности и состава движения, метеорологических условий и состояния дорог. Техническое совершенствование дороги и повышение уровня содержания значительно сокращает колебания ее транспортно-эксплуатационных качеств во времени и под воздействием погодноклиматических факторов, но не могут исключить их полностью. Оперативное управление движением является неизбежной необходимостью и должно быть тем более широким и гибким, чем больше амплитуда изменений в условиях движения.

Управление дорожным движением является составной частью управления функционированием дорожно-транспортной системы в целом и может осуществляться на уровне управления дорожным движением на сети существующих дорог, на отдельно взятой дороге или на участке дороги.

В зависимости от требуемого уровня управления формулируются конкретные задачи, разрабатываются методы управления, определяются технические средства. По степени сложности решаемые задачи и применяемые технические средства управления движением на автомобильных дорогах могут быть классифицированы следующим образом:

1. Простые системы, обеспечивающие управление движением на отдельных участках дорог с применением дорожных знаков со сменной информацией и световых табло, работающих в местном режиме. Применяются на дорогах I — III категорий при интенсивности движения до 7 тыс. *авт./сутки*.

2. Сложные линейные системы, применяемые для диспетчерского управления дорожным движением, аварийной дорожной службой и службой зимнего содержания. В состав систем входят дорожные знаки и светофорные объекты с дистанционным управлением, средства, обеспечивающие телевизионный обзор опасных участков, телефонная и радиосвязь. Такие системы применяются на дорогах I и II категории с интенсивностью движения более 7 тыс. *авт./сутки*.

3. Сложные сетевые системы, осуществляющие координированное управление движением на сети дорог крупного транспортного узла или области. Они позволяют также обеспечить оперативное управление дорожной аварийной службой и службой зимнего содержания. В системах используются управляемые дорожные знаки и светофорные объекты на основных узлах с местным или дистанционным управлением, несколько управляющих пунктов, оборудованных средствами связи для обмена информацией между ними.

4. Автоматизированные системы управления дорожным движением специального назначения, управляющие движением на отдельных участках дорог (въезде, съезде, реверсивной полосе, в тоннеле, на сложном пересечении). Они осуществляют сбор информации о состоянии дороги, окружающих условиях и транспортном потоке и ее последующую обработку в вычислительном центре. В соответствии с полученными данными выбирается тот или иной режим работы автоматических управляемых знаков, которыми оборудован объект.

5. Автоматизированные системы управления дорожным движением на автомагистрали, которые позволяют обеспечить оптимальный режим движения вдоль автомагистрали, координированное управление движением на въездах и съездах с автомагистрали, управление с использованием полос движения, оперативное управление дорожной аварийной службой и службой текущего и зимнего содержания.

В состав автоматизированных систем управления дорожным движением входят: система сбора информации о транспортном потоке, состоянии дороги и окружающих условиях, телематическая связь, ЭВМ, мнемосхема, диспетчерский пункт, система телевизионного обзора, информационное табло, дорожные знаки и светофорные объекты, управляемые координационно-вычислительным центром.

6. Автоматизированные системы управления движением на сети дорог имеют в своем составе те же средства, что и предыдущие системы. Однако управление в этом случае осуществляется исходя из стратегии, обеспечивающей наиболее эффективное функционирование (загрузку) сети в целом, либо выбор наиболее удачного маршрута движения.

Стратегия управления систем исходит из основной цели, которая заключается в повышении эффективности работы автомобильного транспорта и автомобильной дороги в системе «Дорожные условия — транспортные потоки» [1], повышении удобства и безопасности движения. На технологическом уровне целью является достижение удовлетворительного компромисса между задержками первого рода (задержки на въездах) и задержками второго рода (задержками, вызванными снижением скорости и повышением плотности движения).

Как и к любой системе управления, к системам управления дорожным движением предъявляются требования в отношении пропускной способности, экономичности, надежности и совместимости. Однако специфика движения автомобильных транспортных потоков накладывает значительные ограничения на разнообразие применяемых методов управления.

Всякий процесс управления предполагает наличие цели, на достижение которой направлено функционирование системы управления. При этом качество функционирования или критерий эффективности системы управления следует понимать как степень ее приспособленности к выполнению стоящей перед ней задачи [3, 4, 5]. В самом общем виде цель управления сводится к поддержанию на конечном временном интервале минимума (максимума) некоторого функционала M :

$$M(x, u) \rightarrow \min(\max), \quad (1)$$

где x — вектор состояния управляемого объекта;

u — вектор соответствующих управляющих воздействий.

Если мы обсуждаем вопрос достижения наилучшего значения данной функции (т.е. возможность), тогда от системы управления дорожным движением требуется, по крайней мере, обеспечить эффективное функционирование дорожного движения (в смысле максимизации интенсивности движения) и его безопасность.

С недавнего времени в качестве особенно важных стали рассматривать также следующие четыре функции: предупреждение загрязнения окружающей среды и чрезмерного уровня шума, создаваемого дорожным движением; минимизацию потребления энергии при движении автомобиля; предупреждение возникновения и распространения транспортных беспорядков, вызванных заторами или дорожно-транспортными происшествиями; предупреждение полного транспортного хаоса [6]. Эти функции могут иметь различный смысл для различных людей. С этой точки зрения ясна невозможность применения единого общего критерия [7]. Поэтому, исходя из целесообразного положения, что наиболее высокой целью является создание удобств водителю, и выбирают стратегию управления, минимизирующую суммарные задержки или суммарное время проезда по сети [3, 4, 5]. Но для этого вводятся стратегии, предупреждающие распространение заторов в случае «ненормальных» ситуаций, а также распределяющие транспортные потоки по сети. Последние практически еще не осуществимы.

Академик В. В. Сильянов [3] отмечает, что автоматизированные системы управления движением на автомагистралях имеют многоцелевое назначение, позволяя повысить пропускную способность и снизить аварийность. Они дают возможность решать следующие задачи управления движением: регулирование въезда на автомагистраль; быстрое выявление мест

происшествий, выявление места образования затора; управление движением потоков автомобилей вдоль автомагистрали, обеспечение водителей полной информацией об условиях движения, обеспечение приоритетного проезда маршрутными автобусами, обслуживающими пригородную зону и города-спутники. При этом следует отметить, что указанные задачи есть только определение различных состояний условий движения на магистрали (состояний системы «Дорожные условия — транспортные потоки»), а не задачи управления движением.

Академик А. П. Васильев и к.т.н. М. И. Фримштейн перечисляют показатели экономической эффективности для таких систем [4]:

1. Снижение ежегодных транспортных затрат за счет повышения средней скорости движения автомобилей.
2. Снижение народно-хозяйственных потерь от дорожно-транспортных происшествий.
3. Сокращение времени пребывания в пути пассажиров и грузов вследствие увеличения средней скорости движения.
4. Снижение затрат на приобретение подвижного состава для осуществления перевозок.

Однако основой определения эффективности системы управления все же является определение задач системы и связанных с этим критериев эффективности (КЭ).

Целью системы управления движением является наиболее эффективное использование существующей сети автомобильных дорог и улично-дорожной сети городов. Обеспечение безопасного и эффективного движения людей и грузов является основной функцией городских улиц и дорог. Эти качественные утверждения должны относиться к количественным критериям, которые могут быть измерены и оптимизированы в функционале движения транспорта, управляемого в реальном масштабе времени. Например, «безопасное движение» предполагает минимальное число несчастных случаев, вызванных неравномерным движением потока (качество обслуживания). Также под «эффективным движением» может подразумеваться максимальный поток или скорость, минимальная задержка или потребление топлива, или какое-нибудь незначительное сочетание (объем обслуживания и стоимость). Из этого могут быть выведены три задачи, представляющие различные точки зрения на эффективное использование транспортной системы: максимизация обслуживания, оптимизация качества обслуживания и минимизация стоимости. Первые две задачи являются основными. Связанный с ними критерий эффективности может быть преобразован в экономический критерий посредством использования соответствующих факторов стоимости.

Задача 1 соответствует максимизации движения транспорта (т.е. объему двигающегося транспорта или скорости). Задача 2 несколько более сложная, так как должны рассматриваться как движение транспорта, так и равномерность потока. Очень немногие коэффициенты эффективности, встречающиеся в литературе, непосредственно соответствуют этим вопросам. Задачи 1 и 2 могут быть выражены как следующие две функциональные задачи: максимизация движения транспорта и максимизация равномерности потока.

В таблице 1 приведен перечень предлагаемых критериев эффективности.

Для того чтобы систематически уменьшать группу предлагаемых коэффициентов эффективности до значительно меньшей группы, необходимо установить критерии оценки. Для этого изучают типовые критерии оценки, которые подходят к рассматриваемым системам, возможность квантифицировать соотношения, практичность измерений и/или вычислений, легкость установления оптимума, чувствительность и правильность показаний, и избыточность и/или эквивалентность. Некоторые критерии эффективности могут быть устранены на основании единственного критерия оценки, между тем как другие исключаются благодаря соединению критериев.

Предлагаемые критерии эффективности

Функциональные задачи	Категория	Характеристика
1	2	3
Движение транспорта	Задержка	<p>Всего в системе</p> <p>Средняя задержка в системе</p> <p>Совокупность индивидуального времени поездки в системе</p> <p>Главная улица</p> <p>Боковая улица</p> <p>Средняя задержка в худшем перегоне</p> <p>Средняя задержка в очереди в худшем перегоне</p> <p>Максимальная задержка в очереди в худшем перегоне</p> <p>Соотношение величин задержки на худшем перекрестке</p> <p>Коэффициент задержки</p>
Остановилась или сформировалась очередь		<p>Всего мест с очередями в системе</p> <p>Средняя величина очереди в системе</p> <p>Средняя величина очереди на худшем перекрестке</p> <p>Соотношение величин остановившегося транспорта</p>
Время, затраченное на поездки		<p>Всего в системе</p> <p>Среднее в системе</p> <p>Среднее время поездки отдельного автомобиля в системе</p> <p>Максимальное время поездки отдельного автомобиля по системе</p> <p>Среднее время поездки по самому медленному перегону</p> <p>Максимальное время поездки по самому медленному перегону</p>
Скорость движения	<p>Скорость движения</p> <p>Объем движения (потока)</p> <p>Уровень загрузки системы</p> <p>Индекс затора Ротрока и Кифера</p>	<p>Средняя скорость движения по магистралям в системе</p> <p>Средняя скорость движения по системе</p> <p>Минимальная скорость движения отдельного автомобиля по системе</p> <p>Средняя скорость движения по самому медленному перегону</p> <p>Скорость движения по участку</p> <p>Автомобили/единица времени</p> <p>Отношение интенсивности движения к пропускной способности</p> <p>Действительная загруженность, оптимальная загруженность</p>

Продолжение таблицы 1

1	2	3
	Плотность Интенсивность обслуживания Ширина зеленой ленты Неисправность цикла Кинетическая энергия Индекс Гриншильдса Индекс Платта	Автомобили/ единица длины Перевозки, <i>авт.-км/час</i>
Равномерность потока	Шум ускорения Градиент средней скорости Эффективность энергии	Стандартное отклонение ускорения $\sigma_a = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$ σ_a Средняя скорость Отношение эффективной кинетической энергии к измеренной (свободный поток) кинетической энергии

Релевантность по отношению к рассматриваемой системе

Имеется три общих группы критериев эффективности для применения к оценке системы. Группы, которые относятся к критериям эффективности, применимы:

- к отдельному элементу системы, но не ко всей системе;
- как к элементу системы, так и к системе в целом;
- ко всей системе, но не к отдельному элементу.

Средняя группа содержит большинство критериев эффективности. Для обычной сети некоторые критерии эффективности слишком специализированы, чтобы показать эффективность при изменяющихся условиях. Они могут быть исключены из системы критериев эффективности, хотя некоторое небольшое количество может быть полезным на микроуровне. Эти критерии эффективности включают в себя: задержку на главной или боковой дороге; среднюю скорость на самом медленном перегоне; максимальную задержку в очереди на перекрестке, среднюю очередь на перекрестке, максимальную длину очереди на перекрестке и максимальное индивидуальное время поездки.

Возможность квантификации соотношений

Некоторые качественные измерения (например, перегруженность) невозможно представить численно, но все перечисленные критерии эффективности могут быть выражены количественно. Однако точность показателей зависит от трудности измерения, вычисления и/или оценки.

Практичность измерений и/или вычислений

Наименее желательными критериями эффективности являются те, которые не могут быть измерены или точно автоматически вычислены. Главное препятствие заключается в том, что данные, собранные с помощью дорожных контрольно-измерительных приборов, применимы только в пределах перегона, таким образом невозможно проследить транспортные средства по всей системе. На этом основании такие критерии эффективности, как общая индивидуальная задержка в системе и общая индивидуальная задержка в очереди, максимальное индивидуальное время, затрачиваемое на проезд, и минимальная скорость могут быть исключены.

Это ограничение также требует, чтобы все средние значения (например, среднее вре-

мя, затрачиваемое на поездки) определялись как средние для данных на перегон, а не как средние для отдельных автомобилей, проезжающих через всю систему.

Показатели Гриншильдса и Плата [8] требуют измерения количества изменений направления движения рулевого колеса, применения тормозов и изменения направлений движения автомобилей, которые невозможно получать непрерывно. Но желательно, время от времени, производить испытания с помощью лаборатории, оборудованной контрольно-измерительными приборами для проверки и/или калибрования системы наблюдения за дорожной системой. Измерение шума ускорения и среднего градиента скорости возможно, но сравнительно сложно и, таким образом, классифицируется как нежелательное.

Легкость установления оптимума эталона

Желательно, чтобы критерий эффективности обладал легко определяемым оптимумом эталона, зависящего от движения, геометрических и климатических условий. Предпочитается критерий эффективности, который всегда может быть минимизирован или максимизирован, чем тот, оптимальное значение которого изменяется от рабочих условий. В дополнение, критерии эффективности с оптимальными значениями, вероятно, не будут основными, так как их оптимум должен определяться в выражениях других параметров. На основании этого критерии эффективности, классифицированные как нежелательные, включают в себя показатели перегруженности Ротрока и Киферса [8], ширину зеленой ленты, плотность, кинетическую энергию (но не энергетическое отношение) и возможную загрузку системы. Желательны критерии эффективности, имеющие легко определяемое эталонное значение (например, нуль или единицы) и которые могут быть минимизированы или максимизированы.

Чувствительность и обоснованность указаний

Соотношение между критериями эффективности (КЭ) и условиями движения транспорта, по существу, должно быть единственным, т.е. в результате не должно быть значительно отличающихся друг от друга условий движения транспорта в одном и том же направлении. На этом основании было исключено использование только объема (потока) как КЭ; но использование объема в соединении с другим параметром (например, скорость) может иметь большое значение.

Этот критерий чувствительности/обоснованности также указывает на потребность в рассмотрении наихудшего случая в дополнение к общим итогам или средним показателям во всей системе. Например, если используется среднее время, затрачиваемое на поездки по самому плохому звену, то время, затрачиваемое на поездки, должно рассматриваться как исключаящее слишком большие задержки. Чтобы обеспечить обоснованность указаний, необходимо, чтобы система наблюдений распространялась за пределы главной управляемой зоны. Таким образом, система наблюдения принимает во внимание очереди, которые могут образоваться при попытках въехать или выехать из управляемой зоны.

Перегруженность и/или эквивалентность

В качестве оценки с помощью критериев эффективности, остающимися для определения эффективности системы, будут: задержки (все, средние), коэффициент задержек, длина очереди (общая, средняя), время, затрачиваемое на поездки (общее, среднее), средняя скорость в системе, интенсивность обслуживания, количество нарушений цикла, шум ускорения, средний градиент скорости и энергетическое соотношение, где, как указывалось ранее, некоторые из этих критериев эффективности не могли быть использованы. Очень важным является отыскание соотношения между критериями эффективности и необходимым количеством измерений. Выбор определенного критерия эффективности из группы взаимосвязанных критериев эффективности требует некоторой субъективности. Представленный здесь выбор основан главным образом на двух требованиях: а) выбранный критерий эффективности должен годиться для использования при процессе оптимизации в реальном масштабе

времени и б) этот критерий эффективности должен быть получен из выбранных без использования дополнительных данных и незначительного дополнительного вычисления.

Теперь рассмотрим время, затрачиваемое на поездку, но надо помнить, что измерения могут быть сделаны только на основании замеров от перегона к перегону. Время, затрачиваемое на поездки, определяется как разница между временем, когда автомобиль выезжает из перегона, и временем, когда он въезжает на него. Если определено идеальное (свободный поток и свободная скорость) время поездки, разница между эффективным и идеальным временем, затрачиваемым на поездки, будет задержкой. Таким образом, минимизация времени, затрачиваемого на поездки, также минимизирует задержку (и коэффициент задержки). Чтобы точно подсчитать эффективное время, затрачиваемое на поездки автомобилей через перегон, требуется информация о длине очереди. Поэтому длина очереди и задержка нечетки по отношению ко времени поездки.

Теперь рассмотрим скорость движения. Скорость движения, измеренная в точке, обязательно показательна. Большее значение имеет эффективная скорость движения на перегоне, определяемая как

$$S = K / T, \quad (2)$$

где T — эффективное время поездки, определенное выше;
 K — постоянная преобразования.

Таким образом, минимизация времени, затрачиваемого на поездки, максимизирует скорость и обе эти величины излишни.

На основании только что рассмотренных взаимоотношений, время, затрачиваемое на поездки, выбирается как основной критерий эффективности, но это одно не дает полной картины. Задача максимального объема движения транспорта включает в себя два фактора: скорость движения и количество движущегося транспорта (или степень использования сети). Время, затрачиваемое на поездку, обеспечивает возможность измерения скорости движения. Обычно используемой мерой является объем; но объем не показывает расстояния, пройденного автомобилями. Предпочтительным критерием эффективности будет интенсивность обслуживания (также называемая всей поездкой), определяемая ниже.

Будем считать систему концептуально как один источник и один выход, которые разделены километрами дорог. Транспорт из источника будет перемещаться к выходу наиболее быстро, если эффективность обслуживания (вся поездка), определяемая как $R = \text{авт-км/час}$, минимизируется. Для общей сети со многими источниками и выходами R может быть приблизительно высчитано на основании перегона с использованием объема движения и длины перегона, т.е. $R \text{ перегон} = (\text{объем}) / (\text{длина перегона})$.

Обычно критерием эффективности равномерности потока является шумоускорение, но его трудно измерить с помощью дорожных контрольно-измерительных приборов. Можно показать на основании аналогии с жидким потоком, что шум ускорения является критерием потерянной энергии в системе. Другим критерием потерянной энергии (скорее, эффективности энергии) является соотношение эффективных кинетических энергий. Это имеет определенное преимущество. Оно может быть получено из измерений, используемых для вычисления времени, затрачиваемого на поездки.

Рассмотрим два выражения

$$E_{\text{eff}} = \rho S_{\text{eff}}^2; \quad E_{\text{meas}} = S_{\text{meas}}^2, \quad (3)$$

где ρ — плотность потока (авт./длина участка);
 S_{eff} — эффективная скорость, определяемая как $S_{\text{eff}} = \text{расстояние/время}$, затраченное на поездку;

S_{meas} — скорость движения на участке свободного потока, показанная датчиками.

Разница между этими двумя энергиями соответствует потере энергии вследствие ус-

корения, замедления и ожидания.

Так как плотность потока одинакова в обоих случаях, потеря может быть минимизирована посредством минимизации энергетического отношения:

$$E = \frac{E_{\text{eff}}}{E_{\text{meas}}} = \frac{S_{\text{eff}}^2}{S_{\text{meas}}}. \quad (4)$$

Если транспорт движется равномерно без остановок, эффективность будет равна

$$\eta_E \approx 1,0. \quad (5)$$

Если поток транспорта прерывается замедлением или остановками, S_{eff} и E снижаются.

Таким образом, группу предлагаемых критериев эффективности можно уменьшить до следующих рекомендуемых количеств:

КЭ движения транспорта;	T — время, затрачиваемое на поездку;
КЭ равномерности потока;	E — отношение энергии;
Параметр использования системы;	R — интенсивность обслуживания.

Считается, что эти количества дают специфическое разложение общих задач системы на основные функции скорости, равномерности потока и использования сети.

Критерий эффективности движения транспорта может рассматриваться или как среднее время, затрачиваемое на поездку, или как среднее время поездки каждого транспортного средства, или как все время поездок (сумма времени поездок всех транспортных средств системы). Два варианта дают дополнительную информацию. Все время, затрачиваемое на поездки, дает изменения в эксплуатации системы в сумме часов, чтобы дать возможность легко применить фактор стоимости для преобразования изменений эксплуатации в денежные выражения. Среднее время, затрачиваемое на поездку, обеспечивает критерии выгоды (или ущерба) типовым индивидуальным пассажиром. Энергетическое отношение (отношение эффективно измеренных кинетических энергий) рассматривается как критерий эффективности равномерности потока.

Вычисление и/или оценка рекомендуемых объемов движения требуют измерения определенных параметров движения транспорта. Необходимые параметры зависят, до некоторой степени, от измеряемого транспортного потока. Необходимые параметры являются функциями характеристик транспорта, т.е. ламинарный и турбулентный потоки требуют различных контрольно-измерительных приборов.

Идеальный ламинарный поток означает свободный поток транспорта, идущий с постоянной скоростью движения; нет остановок, очередей, перемены полос движения или паркования, мешающих потоку. При таких условиях должны быть точно измерены скорость и интенсивность движения. При турбулентном потоке (противоположном ламинарному) проблема вычисления оценки более трудная. Скорость свободного потока и интенсивность движения тоже необходимы, но не требуется такой точности в отношении скорости. Вместо этого нужна информация о последовательности событий во времени и общий результат турбулентности между контрольно-измерительной аппаратурой.

При этом требуются следующие параметры движения транспорта:

1. Измерения — скорость свободного потока (и время, когда автомобиль проезжает датчик), учет прибывающих автомобилей, состояние очереди (указание наличия запрещающего сигнала красной фазы), состояние сигнала (в настоящее время и проектируемое изменение фазы) и скорость прибытия (поток из главных источников/выходов — маршрутов в системе).

2. Вычисление/оценка — эффективное время поездок (автомобилей по перегону, включая влияние сигналов и автомобилей впереди), энергетическое отношение и интенсивность обслуживания (вся поездка на основании автомобилей, обслуженных вне перегона).

Выводы

Таким образом, из приведенного обзора применяемых критериев эффективности систем управления движением как в городах, так и на автомобильных дорогах, видно, что не существует какой-либо единой целевой функции, которая бы позволила осуществлять эффективное управление во всех случаях изменения условий движения (дорожных условий, транспортных потоков, погодно-климатических условий, социальных условий региона).

Список литературы

1. Системологія на транспорті: Кн. IV: Організація дорожнього руху / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля та ін. — К.: Знання України, 2005.— 452 с.
2. Полищук В.П. О разработке автоматизированных систем управления движением на автомобильных дорогах / В.П. Полищук, Л.В. Хомяк // Материалы II научно-техн. конференции стран-членов СЭВ по проблемам дорожного движения. — Карловы Вары (ЧССР), 1980. — С. 372-380.
3. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации дорожного движения / В.В. Сильянов. — М.: Транспорт, 1977. — 309 с.
4. Васильев А.П. Управление движением на автомобильных дорогах / А.П. Васильев, М.И. Фримштейн. — М.: Транспорт, 1979. — 296 с.
5. Полищук В.П. Проектирование автоматизированных систем управления движением на автомобильных дорогах / В.П. Полищук. — К.: КАДИ, 1983. — 95 с.
6. Иносэ Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада. — М.: Транспорт, 1983. — 248 с.
7. Полищук В.П. Автоматизированное управление движением на узле автомобильных дорог / В.П. Полищук // Автомоб. дороги и дор. стр-во. — К.: Будівельник. — 1987. — Вып. 41. — С. 92-96.
8. Greenshields B.D. Objective Measurements of Driver Behavior / B.D. Greenshields, F.N. Platt // Highway Vehicle Safety. — 1968. — Vol. 13. — P. 35-47.

Стаття надійшла до редакції 11.05.10
© Полищук В.П., 2010