

УДК 656.13:004.89

А.И. Воробьев

канд. техн. наук, доц., МАДИ,

тел.: +7(909)993-87-00,

e-mail: andrey552@yandex.ru

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены принципы адаптивного управления светофорными объектами. Также даны описания координированного и корректируемого управлений транспортными потоками, а также приведены схемы расстановки детекторов при различных уровнях плотности их расстановки.

Ключевые слова: организация дорожного движения, светофорное регулирование, адаптивные системы управления, транспортные детекторы.

Введение

С каждым годом на дорогах Российской Федерации увеличивается численность транспортных средств. Это является причиной увеличения количества ДТП на дорогах и стремительного роста интенсивности движения в крупных городах. В результате там, где существующая дорожная сеть не в состоянии справиться с возросшей нагрузкой, образуется множество транспортных заторов. Особенно проблемными участками были и остаются одноуровневые пересечения дорог [1]. Светофорное регулирование на перекрестке как метод организации дорожного движения, основанный на принципе разделения потоков во времени, уже давно не является гарантом безопасности дорожного движения и не обеспечивает необходимую пропускную способность. Последний факт особенно важен в условиях современных городов, где

количество транспортных заторов возрастает из-за неэффективного регулирования движения транспорта. В условиях динамических знакопеременных нагрузок на улично-дорожную сеть фиксированное (жесткое) управление светофорными объектами не всегда бывает эффективным и оправдывающим свое применение. Более современным и эффективным методом регулирования является адаптивное управление светофорными объектами [2].

Данный метод светофорного управления начал разрабатываться еще в 60-х годах XX в. Сейчас же адаптивное управление сильно эволюционировало и видоизменилось, неизменными остались только некоторые базовые принципы [3].

Принципы работы подсистемы адаптивного управления светофорными объектами

Принцип адаптивного управления достаточно прост. Полностью активные типы светофоров примечательны тем, что длительность сигналов на каждом подъезде к перекрестку зависит от показаний детекторов транспорта (ДТ). Каждой фазе соответствует минимальное и максимальное значение длительности разрешающего и запрещающего сигналов. Продолжительность цикла варьируется. Для реализации адаптивного управления на перекрестке, необходимо оборудовать его ДТ на подходах к перекрестку, а для более развитой системы регулирования необходимо оборудовать детекторами также и выезды с перекрестков.

В Российской Федерации в основном используются несколько видов алгоритмов регулирования адаптивных систем. Наиболее распространенными считаются алгоритмы, предусматривающие переключение сигналов светофора по информации о состоянии перекрестка на текущем цикле регулирования.

В свою очередь этот алгоритм содержит несколько подвидов алгоритмов. Самым широко применяемым является алгоритм поиска

разрыва в транспортном потоке в направлении действия разрешающего сигнала при фиксированных значениях управляющих параметров (время, определяющее разрыв в потоке, минимальная и максимальная длительности разрешающего сигнала).

Основными параметрами управления, используемыми в рамках данного алгоритма, являются минимальная длительность основного такта, максимальная длительность основного такта и экипажное время (интервал, определяющий разрыв в потоке). Сначала отрабатывается минимальная длительность такта. Если во время ее действия детектор фиксирует транспортное средство (ТС) на подъезде к перекрестку, то сигнал продлевается на период экипажного времени. Если ТС нет, то сигнал переключается на запрещающий. Разрешающий сигнал не может длиться дольше заданной максимальной длительности такта.

Широко используется также модель оценки времени зеленого сигнала. В основе данного метода лежит концепция многоугольника накопления очереди, отображающего количество автомобилей в очереди перед стоп-линией в продолжение всего цикла. Задача управления заключается в минимизации площади многоугольника накопления очереди с учетом весовых значений направлений движения.

Выбор технологии управления зависит от уровня плотности расстановки ДТ на перекрестках. Уровень плотности расстановки ДТ является качественным показателем определяющим среднее количество ДТ, установленных на одном перекрестке[4]. Фактически при уровне плотности расстановки ДТ от 0.0 до 1.0 функции ДТ сильно ограничены и получаемые с них помощью данные недостаточны для оказания заметных управленческих воздействий на транспортные потоки. Поэтому в рамках данной статьи будут рассмотрены только те системы светофорного регулирования, где плотность расстановки ДТ 1.0 и выше.

Корректируемое управление транспортным потоком

Данная технология включает в себя работу с несколькими детекторами (уровень плотности расстановки ДТ 1.0 и 1.5) и использует фиксированные планы синхронизации, выбор которых корректируется минимальным числом ДТ системы в периодических интервалах. В таких системах измерения в запросе на трафик ДТ используются для анализа либо интенсивности с значением средневзвешенной плотности, либо преобладающее направление транспортного потока.

Уровень плотности расстановки ДТ 1.0 обеспечивает низкую плотность расстановки ДТ, вплоть до одного детектора на подъезд к перекрестку. Пример расстановки детекторов при плотности равной 1.0 показан на рис. 1.

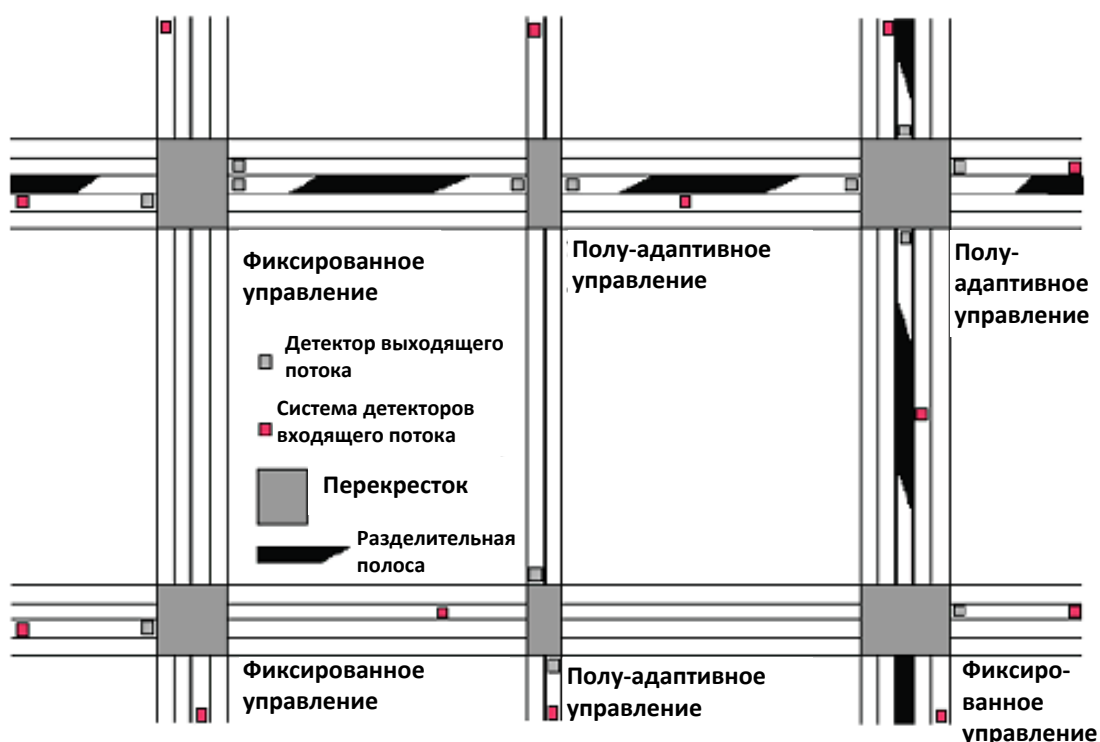


Рис. 1. Расстановка детекторов при уровне плотности 1.0

Уровень плотности 1.5 обусловлен небольшой плотностью детекторов на подъезде к перекрестку (не более одного) и дополнительных

детекторов контролеров. При данной плотности расстановки система быстрее реагирует на изменения в потоке, благодаря объединению контроллеров трафика.

Пример расстановки детекторов при плотности равной 1.5 показан на Рис. 2.

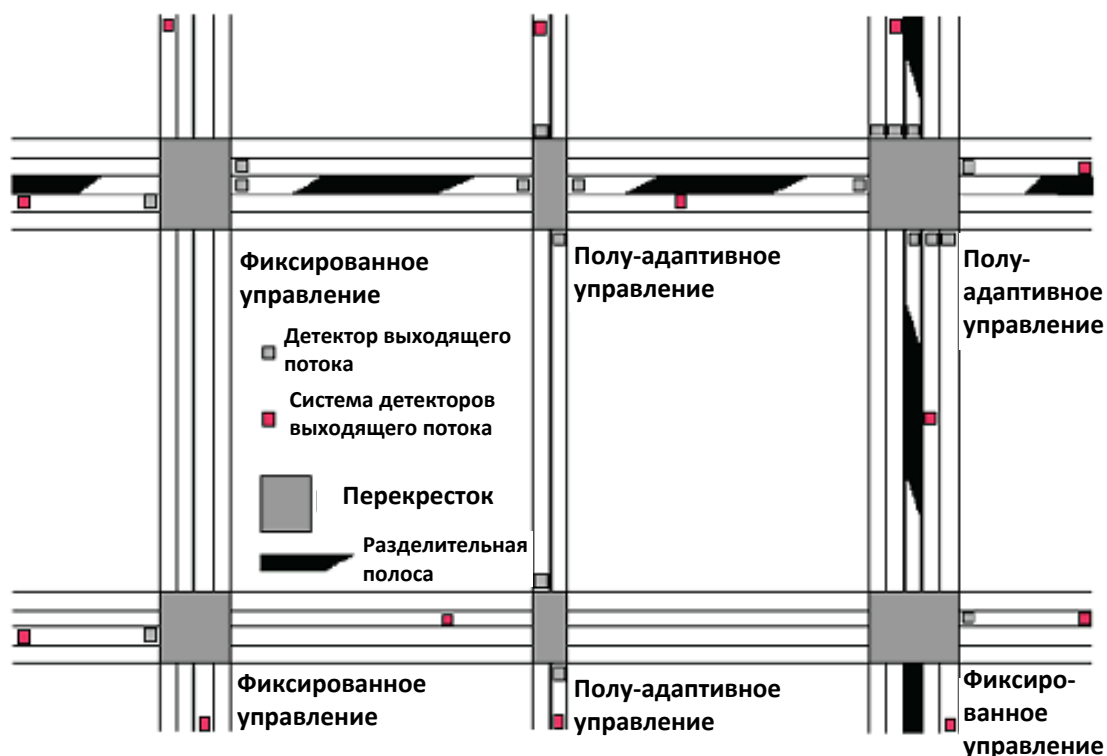


Рис. 2. Расстановка детекторов при уровне плотности 1.5

Координированное управление транспортным потоком

Данная технология управления предусматривает работу с умеренной плотностью детекторов (с уровнем плотности сетевых детекторов 2.0 и 2.5) и использует гибкие планы светофорной синхронизации, в которых смещения и продолжительности фаз и тактов могут быть скорректированы в результате детектирования изменений условий движения на основе циклической технологии коррекции управления. Системы, построенные по данной технологии должны иметь от одного ДТ на каждый подъезд к перекрестку, до одного ДТ на каждую полосу движения каждого подъезда

к перекрестку. Цикл, фаза и смещение должны быть оптимизированы для реализации гибкого плана синхронизации. При этом планы светофорного регулирования меняются через регулярные промежутки времени в размере не менее 15 мин. Расстановка ДТ с плотностью 2.0 характеризуется синхронизацией программ светофорного регулирования, выбираемых из списка или вычисленных на основе текущего состояния транспортного потока, отслеживаемого ДТ в реальном времени.

Уровень плотности 2.0 обеспечивает среднюю плотность детекторов, от одного детектора на каждом подъезде к перекрестку до одного детектора на каждую полосу движения каждого подъезда к перекрестку. Пример расстановки детекторов при плотности равной 2.0 показан на рис. 3.

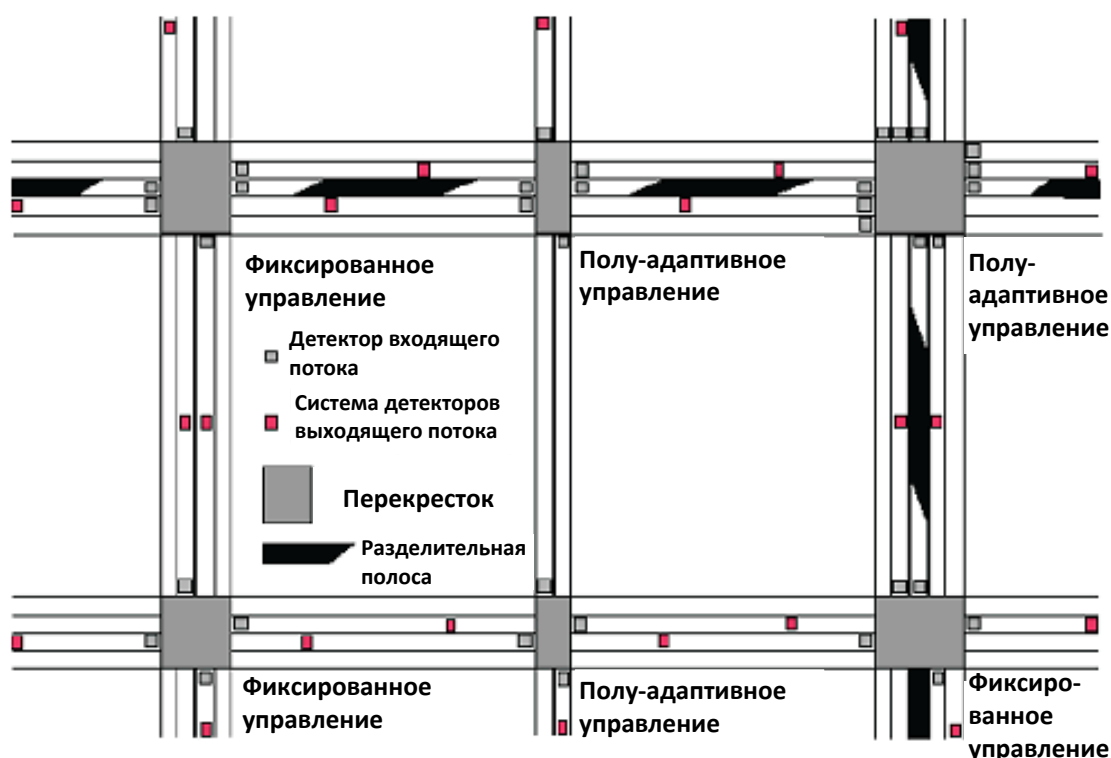


Рис. 3. Расстановка детекторов при уровне плотности 2.0

Уровень плотности 2.5 обеспечивает высокую плотность детекторов, с минимум одним ДТ на каждую полосу движения каждого подъезда к

перекрестку. Например, такой тип подъезда к перекресткам использует системы SCATS (Сиднейская система адаптивного координированного управления), или SCOOT (Метод оптимизации фаз, циклов и смещений).

Данный уровень плотности используется в системах светофорного регулирования, имеющих быстрый отклик на изменение параметров транспортного потока. К данным типам относятся системы, в которых ключевые аспекты временного планирования могут быть изменены с задержкой между сигналом синхронизации обновления плана и возможным обновлением сроков плана не более 15 мин. Также уровень плотности установки ДТ 2.5, как правило, данные системы могут включать в себя некоторые формы прогнозирования движения транспорта, например, системы SCOOT могут вносить небольшие прогнозные корректировки (не более 4 с) к времени смещения, фаз, и цикла в каждом цикле.

Пример расстановки детекторов при плотности равной 2.5 показан на рис. 4.

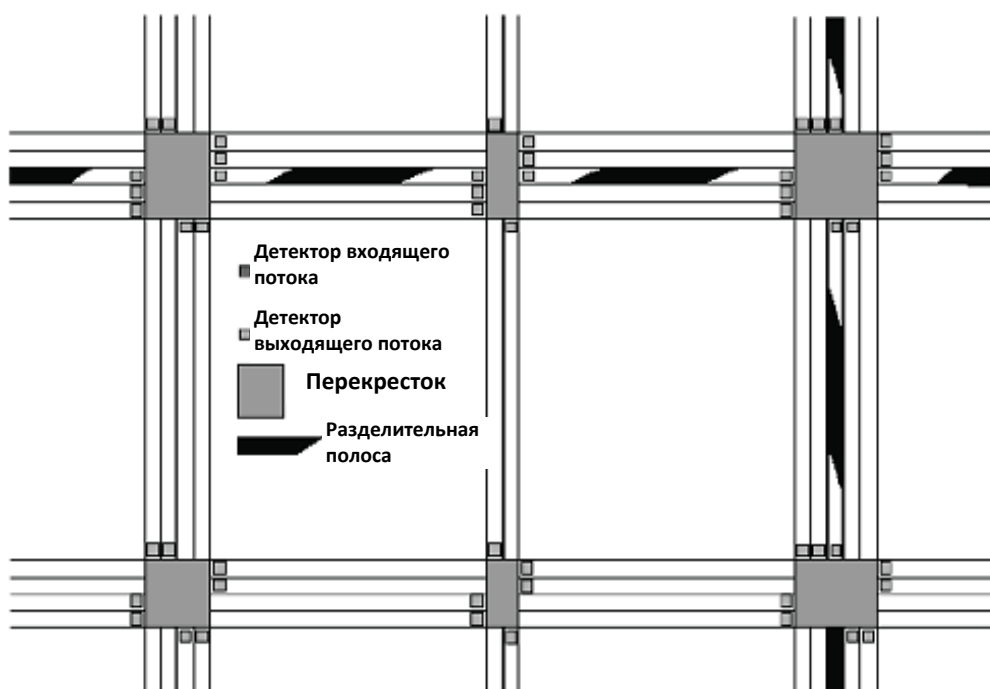


Рис. 4. Расстановка детекторов при уровне плотности 2.5

Чистое адаптивное управление трафиком

Данная технология предусматривает работу с двумя датчиками на полосу движения, обеспечивающую подъезд к перекрестку, функционирующими в связке для повышения эффективности (уровень плотности сетевых детекторов – 3,0). Адаптивная система не имеет фиксированного цикла, фаз, или смещения в классическом смысле [5]. Данные системы предсказывают трафик на ближайшую перспективу и заранее изменяют синхронизацию сигнала, включая выбор и последовательность фаз. Глубина горизонта прогнозирования является ключевым элементом технологичности систем чистого адаптивного управления и достигает 20 сек. Чистое адаптивное управление не имеет смещения или предварительной синхронизации с потоком в классическом понимании, так как сигнал настройки находятся в постоянной адаптации. Системы светофорного управления, реализующие чистое адаптивное управление, часто представляют собой распределительную систему с алгоритмами, работающими с отдельными контролерами, работающими в сетевой координации.

Уровень плотности 3.0 соответствует двум или больше ДТ на подъезд к перекрестку. При данном уровне плотности все временные интервалы сигналов вычисляются и изменяются на основе непрерывного прогноза подходящих к перекрестку транспортных средств в реальном времени.

Уровень плотности 3.0a также включает систему защиты зоны неоднозначности принятия решения на главных направлениях движения и вблизи ДТ остановки для защиты второстепенных подходов к перекрестку[6].

Пример расстановки детекторов при плотности равной 3.0a показан на рис. 5.

При реализации уровня плотности установки ДТ 3.5 используют детекторы идентификации, классификации и трекинга транспортных

средств. Данный уровень плотности позволяет определять реакцию транспортного потока в адаптивных транспортных системах. Этот уровень позволяет идентифицировать каждое транспортное средство, подходящее к перекрестку, а также посредством кластеризации позволяет определить, когда данный автомобиль покинет перекресток. Детекторы для обслуживания уровня плотности 3.5 еще разрабатываются, и обрабатываются первые результаты исследований на улично-дорожной сети.

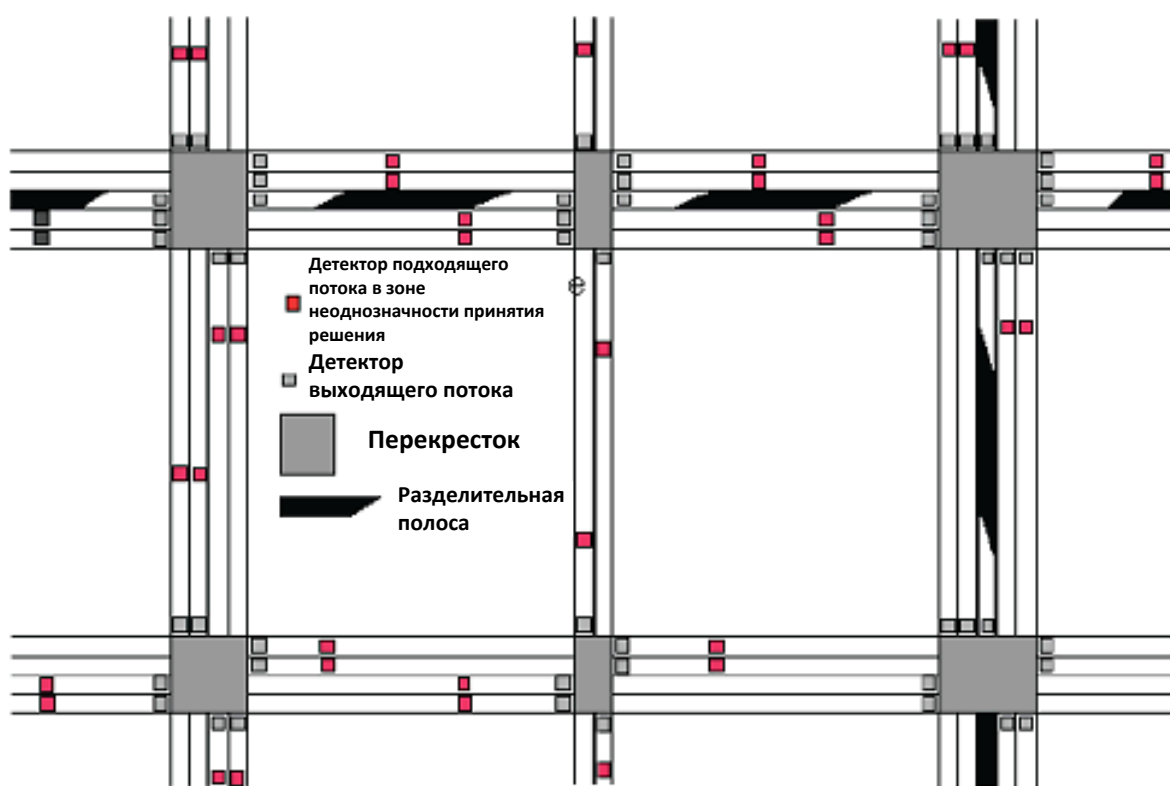


Рис. 5. Расстановка детекторов при уровне плотности 3.0

Уровень плотности 4.0 – гипотетический уровень, который станет возможным при широком распространении коммуникаций, основанных на межбортовом взаимодействии транспортных средств, систем глобального позиционирования высокой точности и массовом внедрении бортовых телематических модулей [7]. В этом случае каждое транспортное средство сможет регулярно сообщать о своем местоположении и пункте назначения

системе управления трафиком. Это позволит создать на базе современных средств имитационного моделирования категорию систем управления движением с помощью долгосрочного прогноза состояния транспортного потока с глубиной горизонта прогнозирования до 1 ч и более.

Заключение

Методы адаптивного управления в настоящий момент являются наиболее эффективными средствами директивного управления транспортным потоком на регулируемых пересечениях при динамически изменяемом, стохастическом входящем транспортном потоке. Выбор того или иного метода управления предполагает выбор соответствующей системы детектирования. Чем точнее и совершеннее система светофорного управления, тем сложнее система детектирования транспортных потоков. Поэтому реализация систем высокоточной идентификации и классификации в сочетании с внедрением технологий межбортового взаимодействия транспортных средств позволит перейти к системам директивного и косвенного прогнозного управления транспортным потоком с глубиной горизонта прогнозирования более часа. Подобные системы позволят в разы повысить безопасность дорожного движения и пропускную способность дорожной сети.

Литература

1. Воробьев А.И., Субботин Б.С., Власенко Г.В. Анализ технологий косвенного управления транспортными потоками на примере зарубежного опыта // Вестник МАДИ. 2013. № 4. С. 83–89.
2. Воробьев А.И., Шадрин А.В., Власенко Г.В. Концепция интеграции подсистем директивного и косвенного управления транспортными потоками // В мире научных открытий. 2012. № 12 (36). С. 149–156.

3. Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
4. TRAFFIC CONTROL SYSTEMS HANDBOOK / Publication No. FHWA-HOP-06-006.
5. Воробьев А.И., Власенко Г.В. Процесс информационного обмена в рамках комплексной автоматизированной системы управления дорожным движением // Автотранспортное предприятие. 2013. № 8. С. 27–29.
6. Воробьев А.И., Субботин Б.С. Анализ методологической основы построения подсистем косвенного и директивного управления транспортными потоками // Вестник МАДИ. 2012. № 4. С. 49–53.
7. Воробьев А.И., Пахомов С.Ю., Ионов С.В. Концепция бортового телематического модуля // В мире научных открытий. 2012. № 12 (36). С. 144–148.

References

1. Vorob'ev A.I., Subbotin B.S., Vlasenko G.V. *Vestnik MADI*, 2013, № 4, pp. 83–89.
2. Vorob'ev A.I., Shadrin A.V., Vlasenko G.V. *V mire nauchnyh otkrytij*, 2012, № 12 (36), pp. 149–156.
3. Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
4. TRAFFIC CONTROL SYSTEMS HANDBOOK / Publication No. FHWA-HOP-06-006.
5. Vorob'ev A.I., Vlasenko G.V. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2013, № 8, pp. 27–29.
6. Vorob'ev A.I., Subbotin B.S. *Vestnik MADI*, 2012, № 4, pp. 49–53.
7. Vorob'ev A.I., Pahomov S.Ju., Izonov S.V. *V mire nauchnyh otkrytij*, 2012, № 12 (36), pp. 144–148.

A. Vorobyev

Modern methods of traffic regulation

Abstract. In the article the principles of adaptive management of the traffic lights. Describes a coordinated and corrected departments of transport streams, as well as a scheme of arrangement of detectors at different density levels of their arrangement.

Key words: traffic, traffic light control, adaptive control system, vehicle detectors.