



**АССОЦИАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ИНЖЕНЕРОВ**

**Тематический обзор Ассоциации:  
системы адаптивного управления  
дорожным движением  
и дорожные контроллеры**

**№ 2/2017**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**



**Ассоциация транспортных инженеров**  
**www.traffic-ing.ru**

Автор идеи тематического обзора: *Р. В. Душкин.*

В подготовке обзора участвовал авторский коллектив: *Е. А. Андреева, Е. В. Белкова, Р. В. Душкин, А. Д. Жарков, Е. А. Курочкин, Н. В. Левин, к. э. н. В. П. Морозов.*

Ассоциация транспортных инженеров выражает благодарность:

*Компании А+S* — за помощь в подготовке и печати выпуска.

*А. А. Власову* — к. т. н., доценту кафедры «Организация и безопасность движения»

Пензенского государственного университета архитектуры и строительства»  
за предоставленные материалы.

*Н. Е. Подозерову, А. Э. Гореву, А. В. Белову* — за конструктивные замечания.

**Тематический обзор Ассоциации: системы адаптивного управления дорожным движением и дорожные контроллеры. Вып. № 2/2017.** — СПб.: ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2017. — 48 с.

Ассоциацией транспортных инженеров подготовлен второй Тематический обзор, который представляет собой сборник материалов по автоматизированным системам управления дорожным движением (АСУДД). В этом выпуске представлена историческая справка о развитии светофорного регулирования, классификации методов и режимов управления дорожным движением. Основное внимание уделено системам управления верхнего уровня и применяемым дорожным контроллерам.

Данный Тематический обзор рассчитан на широкий круг читателей, которые не являются специалистами в области автоматизированных систем управления дорожным движением. Он призван расширить кругозор специалистов из смежных отраслей (транспортные инженеры, инженеры-проектировщики автомобильных дорог и пр.), студентов и просто интересующихся лиц. Также Тематический обзор является приглашением к дальнейшему обсуждению АСУДД, прежде всего возможностей современных систем управления и контроллеров, выпускаемых различными производителями. Мы приглашаем поставщиков таких систем к формированию на сайте Ассоциации площадки по представлению вашего оборудования и систем управления, обсуждению их характеристик, обмену мнениями и идеями по развитию. По нашему мнению, это будет полезно всем: поставщикам — как дополнительная реклама своей продукции; специалистам — как возможность ознакомления с современным оборудованием и системами в одном месте; потенциальным заказчикам (клиентам) эта площадка позволит быстро находить нужные решения и поставщиков, озвучивать свои проблемы перед профессиональным сообществом.

Если вы увидели в данном Тематическом обзоре опечатки, несоответствия терминологии, или у вас есть чем его дополнить, просим всю информацию отправлять на электронный почтовый ящик Ассоциации с пометкой ТО № 2. Адрес: 190103, Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д. 2/5  
WEB: <http://www.traffic-ing.ru/>  
e-mail: [info@traffic-ing.ru](mailto:info@traffic-ing.ru)

## Оглавление

Термины и определения .....	4
Введение .....	5
<b>ГЛАВА 1.</b> Историческая справка .....	6
<b>ГЛАВА 2.</b> Классификация методов, режимов и видов автоматизированного управления дорожным движением.....	10
2.1. Программный режим управления .....	12
2.2. Координированный режим управления.....	13
2.3. Адаптивный режим управления.....	15
2.4. Виды управления дорожным движением .....	15
2.5. Алгоритмы адаптивного управления.....	16
<b>ГЛАВА 3.</b> Системы верхнего уровня .....	19
3.1. Система BALANCE.....	19
3.2. Система ITACA.....	20
3.3. Система MOTION.....	20
3.4. Система OPAC .....	21
3.5. Система RHODES.....	22
3.6. Система SCATS.....	22
3.7. Система SCOOT .....	23
3.8. Система UTOPIA.....	24
3.9. Сравнительный анализ систем верхнего уровня АСУДД.....	25
<b>ГЛАВА 4.</b> Дорожные контроллеры.....	30
4.1. Общие положения .....	30
4.2. Построение короткого списка дорожных контроллеров.....	30
4.3. Характеристика отечественных образцов.....	31
4.4. Характеристика зарубежных образцов.....	41
Список литературы .....	43
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ.</b> Опросник по дорожным контроллерам .....	44

## Термины и определения

- ◆ *Автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД)* — система, состоящая из персонала и комплекса программно-технических средств, которая предназначена для управления движением транспортных средств и пешеходных потоков на дорожной сети города или автомагистрали и направлена на обеспечение безопасности дорожного движения, снижение транспортных задержек, улучшение параметров транспортных потоков, улучшение экологической обстановки.
- ◆ *Выносной пульт управления (ВПУ)* — устройство, непосредственно подключаемое к дорожному контроллеру и предназначенное для управления светофорным объектом в ручном режиме сотрудником органов обеспечения безопасности дорожного движения.
- ◆ *Дежурно-диспетчерский центр (ДДЦ)* — орган управления, являющийся звеном ИТС (или АСУДД), в рамках которого в круглосуточном режиме осуществляются диспетчерский контроль и исполнение функций ИТС (АСУДД).
- ◆ *Интеллектуальная транспортная система (ИТС)* — это система управления, интегрирующая современные информационные и телематические технологии и предназначенная для автоматизированного поиска и принятия к реализации максимально эффективных сценариев управления транспортно-дорожным комплексом региона, конкретным транспортным средством или группой транспортных средств с целью обеспечения заданной мобильности населения, максимизации показателей использования дорожной сети, повышения безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспорта.
- ◆ *Контроллер дорожный* — устройство для управления дорожным движением путем переключения сигналов светофоров и многопозиционных дорожных знаков, как на локальных пересечениях автомобильных дорог, так и входящих в систему координированного управления дорожным движением.
- ◆ *Пофазный разъезд* — организация дорожного движения, при которой группы транспортных потоков и пешеходов на пересечении автомобильных дорог пропускаются поочередно (по фазам).
- ◆ *Светофорный объект (СО)* — группа светофоров, установленных на участке дорожной сети, очередность движения по которому конфликтующих транспортных потоков или транспортных и пешеходных потоков регулируется светофорной сигнализацией.
- ◆ *Система верхнего уровня (СВУ)* — комплекс аппаратных и программных средств, выполняющих роль полуавтоматического диспетчерского узла АСУДД, ядром которого служит ПК или более мощный компьютер.
- ◆ *Такт регулирования* — период действия определенной комбинации светофорных сигналов. Такты делятся на основные и промежуточные.

- ◆ *Техническое средство организации дорожного движения (ТСОДД)* — дорожный знак, дорожная разметка, светофор, дорожное ограждение, направляющее устройство.
- ◆ *Улично-дорожная сеть (УДС)* — комплекс объектов, включающий в себя магистральные улицы общегородского значения различных категорий, магистральные улицы районного значения, улицы, дороги и проезды в зонах жилого, производственного и иного назначения, дороги и проезды на территориях природных комплексов, площади, мосты, эстакады, подземные переходы, разворотные площадки городских маршрутных транспортных средств и иные объекты.
- ◆ *Фаза регулирования* — совокупность основного и следующего за ним промежуточного такта в цикле светофорного регулирования.
- ◆ *Центральная система управления (ЦСУ)* — подсистема АСУДД, располагающаяся в ЦОД на серверном оборудовании и выполняющая все алгоритмы и сценарии управления.
- ◆ *Центр обработки данных (ЦОД)* — специализированное помещение для размещения серверного и коммутационного оборудования, а также для подключения абонентов к сети передачи данных.
- ◆ *Цикл регулирования* — периодически повторяющаяся совокупность всех фаз светофорного регулирования.

## **Введение**

В настоящем тематическом обзоре приводится краткая историческая справка о вехах развития технических средств организации и управления дорожным движением, описываются режимы, методы и алгоритмы светофорного регулирования в автоматизированном режиме, а также приводятся описание и характеристики отдельных дорожных контроллеров зарубежного и отечественного производства.

## ГЛАВА 1. Историческая справка

До появления светофоров управление дорожным движением на перекрестках осуществлялось либо регулировщиком, либо по принципу самоорганизации. В первом случае сотрудник специализированного подразделения при помощи жезла указывал автомобильным потокам очередность движения. Во втором случае проезд через перекресток сопряжен с опасностью и высокой аварийностью.

Интересно, что до изобретения светофора во многих странах действовал неписанный закон: водители проезжали перекресток в порядке живой очереди. Таким образом, в основе этого правила лежали принципы взаимной вежливости водителей, и его соблюдение никак не регулировалось законом. Так начал формироваться водительский этикет. В то время во Франции впервые возникло правило, согласно которому следовало пропускать водителя справа, однако соблюдалось оно не всегда.

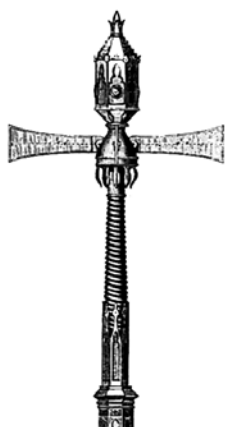


Рис. 1. Первый светофор (семафор) Джона Пика Найта

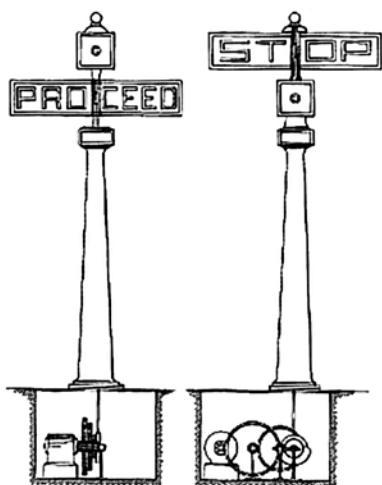


Рис. 2. Система автоматической светофорной сигнализации Эрнста Сиррина

Как можно было бы предположить, принципы регулирования дорожного движения на автомобильных дорогах были позаимствованы у железнодорожного транспорта, имевшего ко времени широкого распространения автомобиля уже серьезную историю использования. Так, специалист по железнодорожным семафорам Джон Пик Найт стал первым изобретателем автомобильного светофора, и его изделие было установлено 10 декабря 1868 года в Лондоне возле здания Британского парламента. Светофор имел ручное управление и две семафорные стрелки, которые использовались для сигнализации: поднятые горизонтально означали «стоп»-сигнал, а опущенные под углом в  $45^\circ$  — движение с осторожностью. В темное время суток использовался вращающийся газовый фонарь, с помощью которого подавались, соответственно, сигналы красного и зеленого цветов. Светофор использовался для облегчения перехода пешеходов через улицу, а его сигналы предназначались для транспортных средств — пока пешеходы идут, транспортные средства должны стоять. Однажды ночью, когда полицейский зажег газовые лампы для подачи сигналов водителям и пешеходам, лампы взорвались, и полицейский получил многочисленные травмы и ожоги. После этого случая систему, разработанную Найтом, перестали использовать.

Эрнст Сиррин разработал первую автоматическую систему светофорной сигнализации, которая была способна работать без непосредственного участия человека. В этой реализации использовались непод-

свеченные надписи «Stop» и «Proceed». А изобретателем первого электрического светофора считается Лестер Вайр, который в 1912 году разработал светофор с двумя круглыми электрическими сигналами красного и зеленого цвета.

Светофор Лестера Вайра по внешнему виду напоминал скворечник, на каждой стороне которого были встроены две лампы: красного и зеленого цветов. Однако, поскольку Вайр не запатентовал свое изобретение, факт изобретения им первого электрического светофора оспаривается.

В 1914 году в Кливленде Американская светофорная компания установила первые электрические светофоры конструкции Джеймса Хога, которые были запатентованы в 1918 году. Они имели красный и зеленый сигнал и, переключаясь, издавали звуковой сигнал. Система управлялась полицейским, сидящим в стеклянной будке на перекрестке. Через три года в г. Солт-Лейк-Сити была создана система, объединяющая светофоры сразу на шести перекрестках. Управлял системой регулировщик.

В 1920 году Уильям Поттс и Джон Ф. Харрис изобрели уже трехцветные светофоры с использованием желтого сигнала. И, фактически, это были именно те светофоры на автомобильных дорогах, форма и устройство которых используются до сих пор.

В нашей стране первые светофоры были установлены в Ленинграде на перекрестке Невского и Литейного проспектов в начале 1930 года, через год первый светофор появился и в Москве. Стоит заметить, что до присоединения СССР к Международной конвенции о дорожном движении и к Протоколу о дорожных знаках и сигналах (50-е годы XX века) порядок цветов в светофорах был обратным нынешнему, а вместо зеленого сигнала использовался синий.

Эволюция светофоров происходила несколькими путями. В рамках настоящего обзора особо интересны два направления. Во-первых, сигнальный элемент. Как можно видеть на представленных ранее иллюстрациях, первые светофоры вообще обходились без фонарей, они были семафорного типа. Затем стали использоваться газовые фонари, лампы накаливания и, наконец, сегодня в большинстве случаев используются светодиоды. Это стало возможно после того, как в середине 1990-х были изобретены зеленые светодиоды с достаточной яркостью и чистотой цвета. Использование светодиодов также позволило снизить энергопотребление, что, естественно, сказалось на совокупной эффективности систем управления дорожным движением.

Во-вторых, происходило постепенное изменение системы управления. Если все начиналось с механической системы, то при переходе на электрику в светофорной сигнализации начали использоваться реле. Управление осуществлялось при помощи так называемого «релейного шкафа», в котором строились рабочие и контрольные цепи управления сигналами светофоров на перекрестке. Затем, конечно же, произошел переход на микросхемы, и были разработаны дорожные контроллеры в том виде, в котором мы их знаем сегодня.



*Рис. 3. Реплика первого электрического светофора Лестера Вайра*

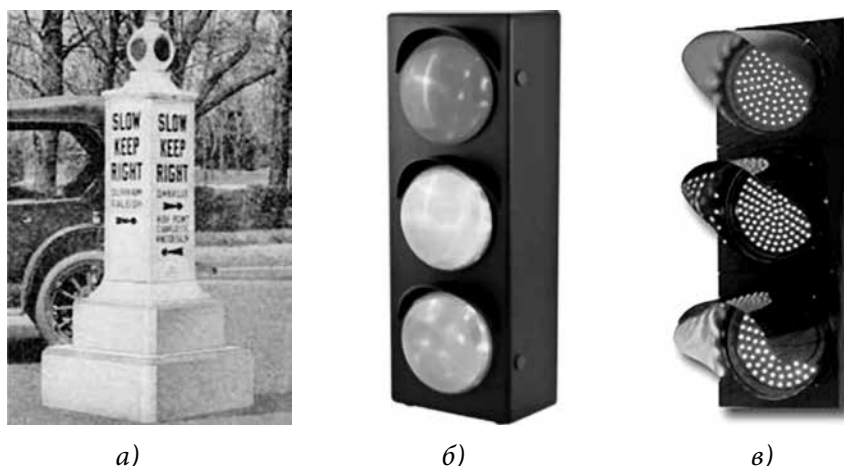


Рис. 4. Варианты технологий для сигнальных элементов:  
 а) газовые фонари, б) лампы накаливания со светофильтрами, в) светодиоды

Дорожный контроллер — это устройство, предназначенное для управления сигналами светофоров с целью безопасного, поочередно-бесконфликтного разделения движения транспортных, а также пешеходных потоков, пересекающихся в одном уровне проезжей части. Дорожные контроллеры могут работать как в автономном режиме, так и в составе АСУДД. При добавлении в состав имеющих такую возможность дорожных контроллеров дополнительной платы адаптивного управления контроллер получает возможность регулирования дорожного движения на основе информации, полученной от детекторов транспорта, при этом реализуются разнообразные алгоритмы динамического управления.

Дорожный контроллер является основным типом периферийного оборудования городской АСУДД. Поскольку сегодня реализация АСУДД и ИТС очень востребована, особенно в крупных городах и мегаполисах развитых государств, многие компании выпускают разнообразные модели дорожных контроллеров. Однако, несмотря на все разнообразие, можно указать обобщенную структурную схему дорожного контроллера.



Рис. 5. Общий вид дорожного контроллера



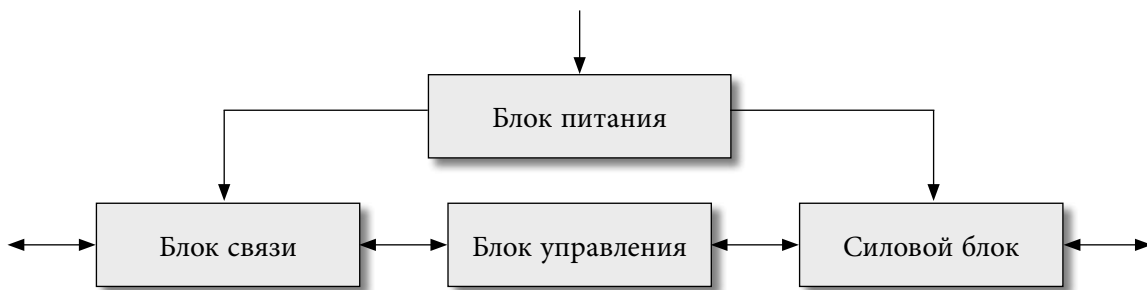


Рис. 6. Обобщенная структурная схема дорожного контроллера

Имеет смысл кратко описать предназначение и функции каждого блока на представленной структурной схеме:

- ◆ *Блок питания* — предназначается для обеспечения электропитанием с требуемыми характеристиками тока и напряжения всех элементов дорожного контроллера. Блок питания преобразует входное питание и распределяет его по элементам.
- ◆ *Блок связи* — предназначен для организации интерфейсов как на физическом, так и на логическом уровнях для связи с ЦСУ и иными поставщиками и потребителями информации. В частности, через блок связи осуществляется взаимосвязь с детекторами транспорта в случае, если дорожный контроллер имеет возможность осуществлять локальное адаптивное управление. Через этот блок дорожный контроллер взаимодействует с другими контроллерами в рамках сетевого адаптивного управления или децентрализованного координированного управления. Сюда же может подключаться выносной пульт управления для ручного управления дорожным движением на перекрестке.
- ◆ *Блок управления* — ядро дорожного контроллера, в котором располагаются микропроцессор и память, а также записаны все программы и сценарии управления. Блок управления может получать команды управления из ЦСУ, может взаимодействовать с другими контроллерами в сети, а может осуществлять локальное управление, работая автономно. Блок управления также осуществляет мониторинг работоспособности всех блоков контроллера и подключенных к нему устройств.
- ◆ *Силовой блок* — через этот блок осуществляется подача управляющих команд на исполнительные устройства, то есть в случае дорожного контроллера — на лампы светофорной колонки и, иногда, на иные устройства, вроде табло обратного отсчета времени. Блок имеет модульное строение, а потому дорожный контроллер можно дополнять необходимым количеством каналов для управления светофорными объектами различной конфигурации. В современных контроллерах добавление новых модулей в силовой блок не требует перепрограммирования блока управления.

## **ГЛАВА 2. Классификация методов, режимов и видов автоматизированного управления дорожным движением**

Методы автоматизированного управления дорожным движением можно классифицировать по пространственному и временному критериям.

По пространственному критерию можно выделить:

- ♦ локальное управление;
- ♦ сетевое управление.

Алгоритм светофорного регулирования является локальным, если для определения параметров регулирования на перекрестке используется только информация о транспортных потоках на подходах к этому перекрестку и в зоне перекрестка. При этом локальный алгоритм может использовать информацию, полученную как непосредственно на стоп-линиях, так и на отдаленных подходах к перекрестку (200–400 м от стоп-линии). Локальные алгоритмы определяют цикл регулирования, последовательность фаз регулирования, их длительности или моменты переключения фаз, параметры промежуточных тактов.

Особенностью сетевых алгоритмов является использование для определения параметров регулирования информации о транспортной ситуации на нескольких перекрестках, обычно связанных в единую сеть, характеризующуюся значительной интенсивностью движения транспорта между соседними перекрестками и небольшими (до 600–700 м) расстояниями между ними. Как правило, на сетевом уровне определяются циклы регулирования для группы перекрестков и сдвиги.

В настоящее время все более широкое распространение получает сетевое управление, в рамках которого организация дорожного движения осуществляется на всей УДС в целом или в рамках выделенных зон. Тем не менее, локальное управление все еще используется, в том числе тогда, когда использование сетевого управления невозможно или нецелесообразно. В частности:

- ♦ при значительном удалении отдельных светофорных объектов от основного района регулирования;
- ♦ при слабой загрузке УДС;
- ♦ при выходе из строя или отсутствии связи с системой верхнего уровня.

По временному критерию выделяются:

- ♦ прогнозное управление,
- ♦ адаптивное управление,
- ♦ ситуационное управление.

Прогнозное управление (или жесткое управление) подразумевает изменение параметров регулирования, которые определяются исходя из прогноза транспортной ситуации, основанного на выполненных заранее наблюдениях.

Адаптивное регулирование подразумевает изменение параметров регулирования на основании краткосрочного прогноза транспортной ситуации (3–15 мин).

Ситуационное управление подразумевает переключение между заранее рассчитанными и установленными типовыми режимами регулирования в зависимости от текущей транспортной ситуации.

Общий классификатор методов управления дорожным движением выглядит следующим образом:

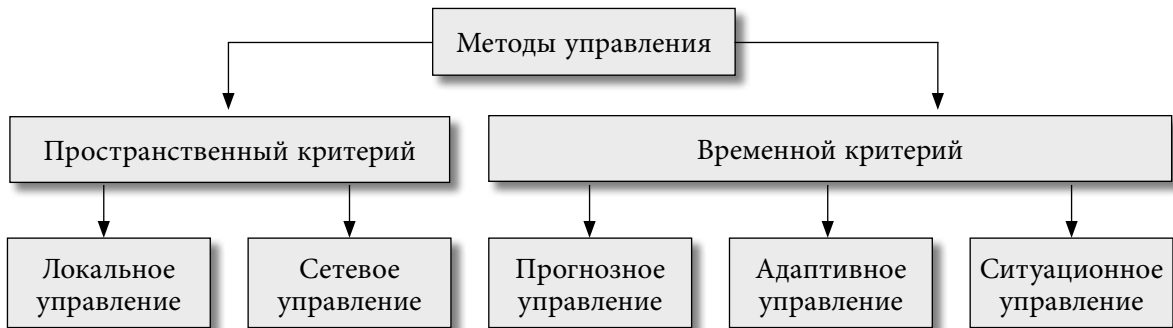


Рис. 7. Классификация методов управления дорожным движением

Исходя из транспортной ситуации, возможностей и целей может быть выбран метод управления с любым сочетанием пространственно-временных критериев, например, сетевое адаптивное управление или локальное ситуационное управление.

Также в соответствии с ОДМ 218.6.003–2011 «Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах» светофорное регулирование может быть:

- ♦ *Автоматическое* — дорожный контроллер работает без участия человека по заданной программе или в адаптивном режиме (также называется «программным управлением»).
- ♦ *Автоматизированное* — СО управляется удаленно диспетчером (также называется «диспетчерским управлением»).
- ♦ *Ручное* — использование ВПУ, непосредственно подключенного к дорожному контроллеру.

Принимая во внимание перечисленные способы классификации методов управления СО, можно определить следующие режимы управления:

- ♦ *Ручной режим.* Сотрудник специальной службы, обеспечивающей безопасность дорожного движения, находится непосредственно на СО и при помощи подключенного к контроллеру ВПУ управляет фазами каждого светофора, принимая решение на основании визуального контроля транспортных потоков.
- ♦ *Диспетчерский режим.* Диспетчер удаленно выполняет переключение фаз СО на основании показателей детекторов транспорта или визуального контроля транспортных потоков при помощи видеокамер. При этом диспетчер может либо переключать фазы, либо изменять на дорожном контроллере исполняемые программы.
- ♦ *Программный режим.* Дорожный контроллер выполняет программу переключения фаз, которая была выбрана и установлена в качестве текущей из имеющегося в памяти контроллера набора программ. Обычно программа соответствует ста-

стистическим закономерностям, выявленным для заданного месяца, дня недели, времени суток, поэтому иногда этот режим называется «календарным».

- ♦ *Координированный режим.* В единый контур управления включены несколько СО, составляющих один маршрут движения, с целью обеспечения безостановочного проезда транзитного транспорта, а также сокращения времени ожидания при движении по рассматриваемой магистрали. Принцип координации светофорных объектов заключается в обеспечении на последующем светофорном объекте, по отношению к предыдущему, разрешающего сигнала с некоторым сдвигом по времени в секундах.
- ♦ *Адаптивный режим.* Режим, позволяющий рассчитывать программы управления в реальном времени в зависимости от фактической ситуации, идентифицируемой детекторами транспортных потоков.
- ♦ *Ситуационный режим.* Режим, при котором выбор конкретной программы управления на перекрестке, в зоне или на целой УДС осуществляется из заранее сформированной «библиотеки» согласно текущей транспортной ситуации.

Необходимо отметить, что здесь перечислены наиболее высокоуровневые режимы, при этом в рамках каждого режима также могут быть подрежимы управления более низкого уровня. Например, в рамках координированного режима управления часто используются такие режимы, как «Зеленая волна» или «Общий старт». Некоторые из таких подрежимов рассматриваются в следующих подразделах.

## 2.1. Программный режим управления

Программный режим управления СО характеризуется тем, что информация о параметрах транспортных потоков, управление которыми осуществляется на перекрестке, собирается заранее и подвергается статистической обработке. Транспортный инженер при помощи специального программного обеспечения (а ранее — при помощи ручных расчетов) разрабатывает набор программ управления, которые представляют собой распределение фаз светофорного регулирования в рамках цикла. Такие программы зависят от времени суток, дня недели, сезона — чем больше программ создаст транспортный инженер, тем более адекватно будет реагировать дорожный контроллер, исполняющий эти программы. Более того, программы можно создавать не только по календарю, но и для реагирования на различные ситуации (например, проезд спецтранспорта). Впрочем специальные программы обычно включаются диспетчером при реакции на какие-либо возникающие ситуации.

Таким образом, в дорожный контроллер загружаются заранее созданные программы регулирования, которые активируются в зависимости от возникновения каких-либо условий: либо наступления времени (календарное программирование), либо сигнала от диспетчера для включения специальных программ.

При помощи все более и более частого дробления программ можно очень хорошо повысить точность регулирования, однако это, конечно же, связано с повышенными трудозатратами на сбор статистики по параметрам транспортных потоков и создание программ для каждого светофорного объекта. Учитывая то, что параметры транс-

портных потоков часто собираются вручную, собранные данные обладают низкой точностью (вследствие аппроксимации и экстраполяции), а потому разработанные на их основе программы часто бывают не соответствующими реальным условиям движения.

Номер светофора	График включения сигналов			$t_o, c$	$t_{ж}, c$	$t_k, c$	$t_{кж}, c$
	I фаза	II фаза	III фаза				
8, 3	■	■	■	82		38	
4, 10	■	■	■	39		81	
12, 5	■	■	■	31	3	82	4
6, 11	■	■	■	74	3	39	4
2, 9, 7, 1	■	■	■	39	4	74	3
3п, 4п	■	■	■	39		81	
7п, 8п	■	■	■	31		89	
1п, 2п, 5п, 6п	■	■	■	39		81	

Рис. 8. Пример программы светофорного регулирования

К тому же в случае разнообразных «всплесков» транспортной активности программное управление становится неприменимым и может стать причиной существенного ухудшения условий движения, возникновения заторов. Со временем происходит изменение транспортных потоков и разработанные программы постепенно устаревают, их необходимо обновлять, что требует дополнительных трудовых и финансовых затрат.

Однако именно программный режим управления является в настоящее время наиболее часто используемым даже при управлении дорожным движением в крупных мегаполисах.

## 2.2. Координированный режим управления

Под координированным управлением понимается согласованная работа ряда светофорных объектов, которая вводится с целью обеспечения безостановочного проезда транзитного транспорта, а также сокращения времени ожидания при движении по магистрали.

Принцип координации светофорных объектов заключается в обеспечении на последующем светофорном объекте по отношению к предыдущему разрешающего сигнала с некоторым сдвигом по времени. Данный сдвиг зависит от средней скорости движения транспорта, осуществляющего проезд как в прямом, так и в обратном направлении по координируемой магистрали между перекрестками. Время сдвига также зависит от расстояния между стоп-линиями в прямом и в обратном направлениях. Таким образом, транспортные средства, движущиеся с определенной скоро-

стью по магистрали, на которой функционирует система координированного управления светофорными объектами, достигнув очередного перекрестка, участвующего в координированном управлении, попадают на разрешающий сигнал светофора, формируется «зеленая волна».

Вместе с тем в рамках координированного управления могут использоваться и другие подрежимы:

- ◆ Зеленая волна,
- ◆ Красная волна,
- ◆ Общий старт (или единый старт).

Подрезим «Красная волна» — алгоритм координированного управления, который предназначен для снижения средней скорости транспортного потока. Алгоритм реализуется за счет настройки сдвигов ленты координации таким образом, чтобы обеспечить необходимое количество остановок транспортных средств на перекрестках маршрута.

Подрезим «Общий старт» — алгоритм координированного управления, который обеспечивает безостановочный проезд одновременно стартовавших с опорного перекрестка транспортных средств нескольких последовательных перекрестков. Эффект достигается за счет нулевого сдвига на всех перекрестках. Плюсом этого алгоритма является одновременная координация прямого и обратного направлений. Чаще всего применяется при слабо выраженном маятниковом эффекте.

Наибольший интерес представляет подрезим «Зеленая волна», который предназначен для проводки транспортного потока по магистрали со средней скоростью таким образом, чтобы транспортные средства при подъезде к очередному перекрестку получали зеленый сигнал для безостановочного движения. Введение такого режима позволяет изменять среднюю скорость транспортных средств на всем отрезке координации за счет выравнивания ее при движении автомобилей на перекрестках.

Расчет фаз светофорных объектов для организации зеленой волны осуществляется по результатам замеров интенсивностей транспортных потоков с учетом многочисленных параметров: времени суток, длины перегонов между перекрестками, количества и ширины полос и др. Сегодня расчеты делаются в автоматизированном режиме с использованием специального программного обеспечения на автоматизированном рабочем месте (АРМ) транспортного инженера.

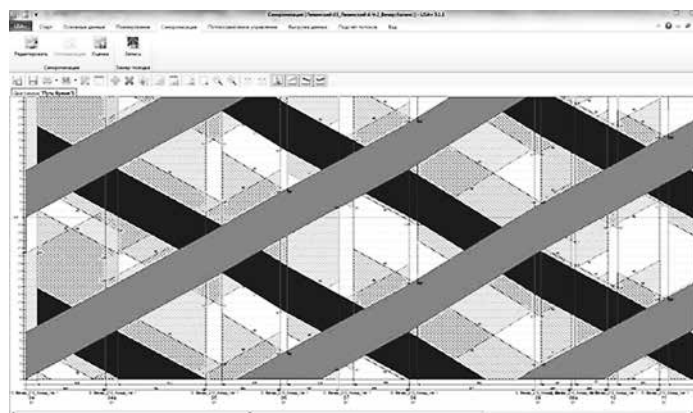


Рис. 9. Пример диаграммы плана координации для подрежима «Зеленая волна»

### 2.3. Адаптивный режим управления

Адаптивным называется такой режим управления светофорным объектом, при котором длины фаз и некоторые другие характеристики светофорного цикла изменяются в зависимости от значений параметров транспортных потоков по конфликтным направлениям.

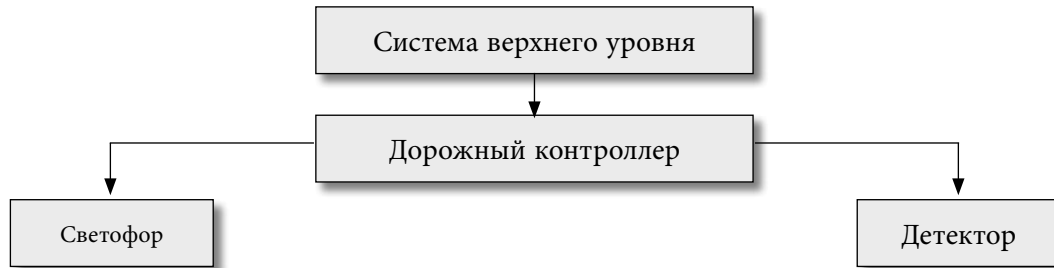


Рис. 10. Общая схема адаптивного управления

Адаптивное управление основано на получении информации о параметрах транспортных потоков, которое может осуществляться как в режиме реального времени, так и на основании кратковременного прогноза, полученного путем анализа статистических данных по интенсивности движения. Характеристики светофорного цикла меняются в зависимости от уровня загрузки. Система анализирует соответствие фактической транспортной нагрузки потоку насыщения. В случае, если фактическая нагрузка превышает поток насыщения, адаптивное управление стремится к уменьшению задержек транспортных средств путем увеличения длительности разрешающего сигнала, как с сохранением цикла регулирования, так и при его изменении.

### 2.4. Виды управления дорожным движением

На УДС городов можно выделить следующие виды управления дорожным движением:

- ♦ Жестко-календарное локальное управление, использующее следующие методы: желтое мигание, ручное управление, управление по жесткой длительности фаз и цикла; выбор программы согласно календарному расписанию работы. Все перечисленные методы, кроме первых двух, основаны на предварительном расчете циклов и фаз регулирования на основании проведенных замеров транспортного потока. Дорожный контроллер выбирает одну из загруженных в него программ, в зависимости от транспортной ситуации и возможностей контроллера. Например, в случае управления по жесткой длительности фаз и цикла выбор вообще не производится, а в дорожном контроллере имеется лишь одна программа светофорного регулирования.
- ♦ Жестко-календарное координированное управление в целом основано на том же самом принципе, что и жестко-календарное локальное управление, но при этом при разработке программ управления на светофорных объектах учитывается синхронизация ряда светофорных объектов для обеспечения безостановочного проезда по маршруту координированного управления. В этом случае может при-

меняться как общая программа координации для всех периодов времени, так и выбранная, из заранее заложенных в дорожный контроллер, программа управления в зависимости от календарного графика.

- ◆ Локальное адаптивное управление. При таком управлении производится предварительный расчет планов координации на основании историко-статистических данных о параметрах транспортных потоков по всем направлениям. Перерасчет планов производится по мере накопления изменений в транспортной ситуации, и его необходимость определяется автоматически. Данные о параметрах транспортных потоков накапливаются тактическими и стратегическими детекторами транспорта. Пакет планов координации загружается в дорожный контроллер по мере перерасчета. Дорожный контроллер переключает планы координации либо в соответствии с календарным графиком, имеющимся в пакете, либо на основе текущих критериев выбора конкретного плана. В рамках каждого цикла длительность всех фаз изменяется в разрешенных пределах в соответствии с текущими показаниями параметров транспортных потоков по конфликтующим направлениям. Эти изменения фиксируются тактическими детекторами на перекрестке.
- ◆ Сетевое адаптивное управление. При таком виде управления учитывается как суточное изменение интенсивности, так и ее случайные колебания в различные периоды времени суток. Адаптивное управление реализуется с помощью детекторов транспорта, расположенных в зоне перекрестка и передающих в непрерывном режиме информацию о транспортных потоках.

Хронология развития различных видов управления дорожным движением показана на рисунке 11.

## 2.5. Алгоритмы адаптивного управления

Системы локального и сетевого управления функционируют на основании различных алгоритмов.

По способу обработки информации с детекторов алгоритмы адаптивного управления можно разделить на следующие группы:

- ◆ Алгоритмы, предусматривающие переключение сигналов светофора в данном цикле регулирования исходя из полученной информации о состоянии транспортного потока.
- ◆ Алгоритмы статистической оптимизации, которые на основании полученной информации формируют вероятностный прогноз параметров управления на следующий момент времени.
- ◆ Алгоритмы случайного поиска. Параметры управления изменяются случайно с одновременным анализом критерия эффективности (например, задержки). Управление считается эффективным при достижении максимума или минимума критерия эффективности (например, минимальное значение задержки).



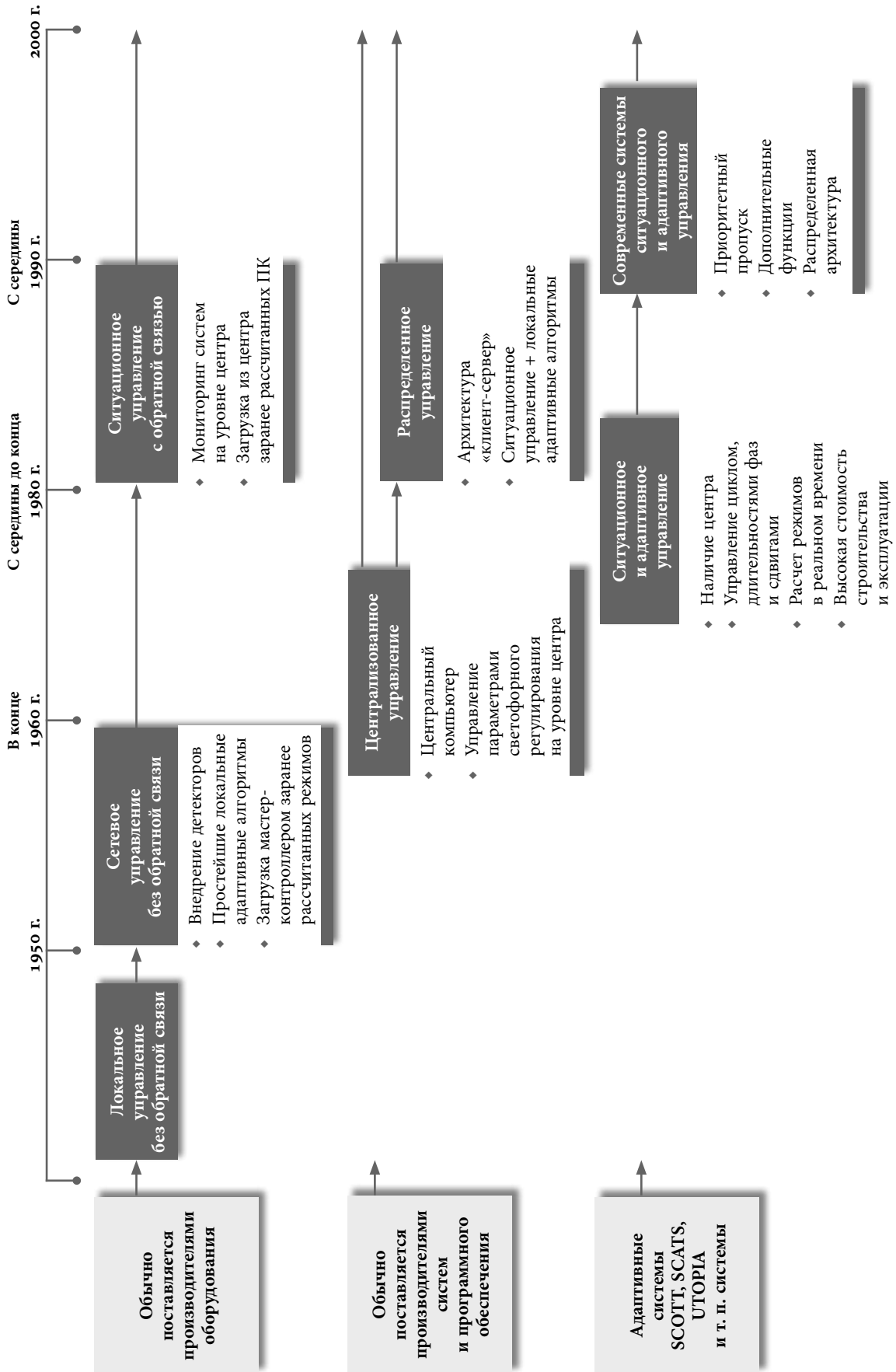


Рис.11. Хронология развития различных видов управления дорожным движением

Системы локального управления функционируют на основе более «простых» алгоритмов:

- ♦ *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). Для светофорного объекта определяется минимальное и максимальное значение каждой фазы. По истечении минимального значения времени разрешающего сигнала его длительность может быть увеличена на добавочный интервал времени в случае регистрации нового автомобиля детектором транспорта на подходе к перекрестку. Каждое срабатывание детектора транспорта во время разрешающего сигнала увеличивает длительность фазы на добавочный интервал, но при этом общая длительность не может превысить максимальную величину. Если ни одного транспортного средства за время очередного удлинения разрешающего сигнала не зарегистрировано, то зеленый сигнал сменяется на красный. Добавочный интервал определяется временем, которое требуется транспортному средству после его регистрации детектором на преодоление расстояния от детектора до стоп-линии и последующего безопасного проезда перекрестка. Метод отлично показывает себя на перекрестках с малыми значениями транспортного спроса по направлениям.
- ♦ *Алгоритм поиска разрыва при переменных управляющих параметрах, зависящих от условий движения.* Такой способ управления является более гибким, так как при этом используется большая информация о параметрах потока. В частности, интервал времени, определяющий разрыв в потоке, задается в зависимости от скорости пребывающих к перекрестку автомобилей, минимальная и максимальная длительности разрешающего сигнала зависят от очереди автомобилей в рассматриваемом и конфликтующих направлениях.
- ♦ *Алгоритм сравнения транспортной задержки на подходе к перекрестку в направлении разрешающего сигнала с транспортной задержкой в конфликтующем направлении.* Разрешающие сигналы пропорциональны задержкам в прямом и конфликтующим направлениях. Данный метод преследует цель минимизации общей задержки на перекрестке.
- ♦ *Алгоритм, предусматривающий лишь пропуск очередей, образовавшихся за время действия запрещающего сигнала.* Сигналы переключаются сразу после проезда стоп-линии последним автомобилем очереди. Реализация алгоритма основана на информации о потоках насыщения на всех подходах к перекрестку. По потоку насыщения определяют временной интервал между автомобилями очереди, покидающей перекресток. Превышение этого интервала означает, что интенсивность движения стала меньше потока насыщения, следовательно, наступил момент смены сигналов.
- ♦ *Алгоритм, предусматривающий перераспределение длительности фаз внутри цикла на основе анализа текущих фазовых коэффициентов в конфликтующих направлениях.* Длительность разрешающих сигналов соответствует фактической загрузке направлений движения. Возможно применение этого алгоритма как с постоянным циклом регулирования, так и с переменным, который рассчитывается заново на каждом шаге управления.

## ГЛАВА 3. Системы верхнего уровня

Ниже приведено краткое описание наиболее распространенных систем верхнего уровня (далее СВУ) для адаптивного светофорного регулирования, реализующих различные алгоритмы и режимы и апробированных в реальных условиях в крупных городах различных стран мира. СВУ перечислены в алфавитном порядке.

### 3.1. Система BALANCE



Система BALANCE разработана и поддерживается немецкой компанией GEVAS Software (Мюнхен, Германия), которая входит в состав группы PTV. Это решение включено в разветвленную и многокомпонентную экосистему решений компании GEVAS Software по управлению дорожным движением, организации интеллектуальных транспортных систем и подсистем «умного города». Также в состав системы BALANCE входят компоненты для транспортного планирования, подготовки перекрестков к работе и организации различных режимов управления светофорных объектов.

Сама по себе система BALANCE является реализацией алгоритмов сетевого адаптивного управления. Отличительной чертой решения является поиск «на лету» наиболее оптимального распределения длительности фаз и цикла регулирования для каждого светофорного объекта в сети с учетом транспортной нагрузки — вся зона УДС, находящаяся под управлением системы, использует свои мощности по пропуску транспортных потоков оптимальным образом. Это, в свою очередь, приводит к снижению времени простоя, снижению потребления топлива и степени загрязнения воздуха.

Алгоритм BALANCE запускается каждые 5 минут и вычисляет оптимизированные планы координации для следующего пятиминутного периода. Управление на микроуровне (в особенности для учета приоритета движения общественного транспорта) отдается на локальный уровень дорожных контроллеров. Это гарантирует быстрые решения на уровне перекрестков тогда, когда центральная система не успевает среагировать на изменяющуюся ситуацию. При этом сама центральная система управления и ее функционирование не зависят от типов дорожных контроллеров и детекторов транспорта.

С математической точки зрения система BALANCE решает задачу оптимизации на сети в сложном пространстве принятия решений. Для оптимального выполнения этой функции вместо эвристических и полуэвристических методов используются генетические алгоритмы, которые показывают высокий уровень эффективности.

Система внедрена в промышленную эксплуатацию в Гамбурге и Ингольштадте, где показывает отличную степень достижения ключевых показателей эффективности дорожного движения.

### 3.2. Система ИТАСА



ИТАСА = Intelligent Traffic Area Control

Централизованная система управления ИТАСА была разработана в 1990-х годах в Университете Овьедо (Овьедо, Испания).

Система ИТАСА реализует алгоритмы адаптивного управления, основанные на оптимизации длительности фаз и смещения в цикле, что позволяет минимизировать задержки и время ожидания транспортных средств в зоне управления. Система рассчитывает в реальном времени наилучшее решение для каждого перекрестка под ее управлением так, чтобы непрерывно адаптировать последовательность сигналов для удовлетворения транспортного спроса. Данные для расчетов берутся с локальных детекторов транспорта. Система осуществляет небольшие, но частые изменения в параметрах светофорных циклов так, чтобы избежать негативных последствий резкого изменения светофорного управления.

Логическая архитектура системы состоит из трех уровней. На первом располагается ЦСУ, на втором — центры управления, и на третьем — каждый светофорный объект по отдельности. Система осуществляет постоянную адаптацию к изменению параметров транспортных потоков на зональном уровне, а на уровне отдельных перекрестков происходит изменение параметров светофорного цикла каждые 5 секунд.

Система широко применяется в Канаде, США и Юго-Восточной Азии (одно из крупнейших внедрений — Пекин). По информации от производителей, система может одновременно управлять 5000 светофорных объектов.

### 3.3. Система MOTION

**SIEMENS** MOTION = Method for the Optimization of Traffic Signals In On-line controlled Networks

Система MOTION реализована компанией Siemens (Берлин и Мюнхен, Германия) в их продукте SITRAFFIC и представляет собой воплощение децентрализованных адаптивных алгоритмов управления дорожным движением в городских условиях. Само по себе решение MOTION представляет ядро интегрированной системы управления, включающей в себя также управление наземным городским пассажирским транспортом и другими аспектами транспортной системы на УДС городов.

Как и для других СВУ, задачами системы MOTION являются не только снижение ключевых параметров по условиям движения автомобильного транспорта, но и снижение нагрузки на экологию, в частности, снижение потребления топлива и снижение уровня выбросов.

По информации от производителей, система SITRAFFIC вполне может быть инсталлирована на существующее оборудование — детекторы транспорта и дорожные контроллеры, с точки зрения периферийного оборудования и аппаратно-технического обеспечения практически ничего менять не требуется. Система может интегрироваться в более комплексные решения, либо использоваться в одиночку для управления локальной зоной, которая может содержать один или более перекрестков.

Работа системы основана на моделировании транспортных потоков «на лету» посредством сбора информации с тактических детекторов транспорта и оптимизации светофорных фаз. На локальном уровне в системе MOTION реализуются алгоритмы приоритетного пропуска и уточнения моментов переключения фаз в зависимости от текущей транспортной ситуации. Также в системе реализованы правила распознавания инцидентов различных типов (затор, ДТП и др.), а главной особенностью разработчики называют возможность управления приоритетом проезда общественного транспорта как по выделенным полосам, так и в общем потоке.

Система MOTION SITRAFFIC внедрена в десятках стран мира и многих городах, в том числе крупных столицах государств: Праге, Варшаве, Вильнюсе, Копенгагене, Абу-Даби. Уличное дорожное движение во многих городах Германии и Австрии управляется этой системой.

### 3.4. Система OPAC

**OPAC™** OPAC = Optimized Policies for Adaptive Control

Система OPAC представляет собой децентрализованное решение для адаптивного сетевого управления светофорными объектами на достаточно разреженной сети автомобильных дорог. Система работает в режиме реального времени и непрерывно адаптирует фазы светофорного регулирования для минимизации общей «функции деятельности», включающей в себя параметры всех светофорных объектов и транспортных потоков в рамках определенного горизонта планирования. Система рассчитана на ненасыщенные условия с тенденцией к насыщению — основная цель заключается в максимальном недопущении развития заторовых ситуаций. В условиях уже сформировавшихся «пробок» работает хуже, чем другие системы.

Необходимо отметить, что развитие системы началось еще в 1970-х годах и продолжается до сих пор, и на текущий момент выдана спецификация OPAC V, которая представляет собой детальное описание алгоритмов, которые позволяют реализовать полное адаптивное управление на локальном и сетевом уровнях.

Получая данные с детекторов транспорта, имплементация системы OPAC должна рассчитывать так называемый «профиль очереди», который является главным параметром прогнозирования развития транспортной обстановки на каждом перекрестке. На основании профиля каждой очереди рассчитываются длины фаз светофорного регулирования в соответствии со специальными формулами, учитывающими горизонт планирования. Решение о длинах фаз следующего цикла светофорного регулирования принимается по окончании текущего цикла.

Алгоритмы на основе системы OPAC внедрены в эксплуатацию в нескольких городах США и Канады.

### 3.5. Система RHODES



RHODES = Real-time Hierarchical Optimizing Distributed Effective System

Система RHODES и основанные на ней алгоритмы управления дорожным движением были разработаны в Университете Аризоны, США. Адаптивное управление в рамках этой системы основано на использовании динамических моделей, данные для использования которых в вопросах предсказания получаются с тактических детекторов и из других источников транспортной информации.

Архитектура решения представляет собой трехуровневую иерархию. На базовом уровне находятся специальные дорожные контроллеры, каждый из которых имеет модель своего светофорного объекта. Это значит, что система сама по себе может работать в децентрализованном режиме. Вместе с тем, существует модель сети и дорожного движения на ней — это второй уровень системы, на нем уже централизованно обчисляются оперативные параметры транспортных потоков на УДС, находящейся под управлением алгоритмов. Наконец, на третьем уровне находится динамическая модель загрузки сети, в рамках которой рассматриваются стратегические параметры дорожного движения, которые медленно меняются со временем или в зависимости от условий.

На каждом из трех уровней делается прогноз изменений параметров транспортных потоков, полученных на основе данных с детектором транспорта, находящихся на входящих полосах перекрестка. Прогноз используется для тонкой подстройки длительности фаз светофорного регулирования. Также в рамках системы можно применять алгоритмы приоритетного проезда пассажирского транспорта и пропуска спецтранспорта по выделенным полосам. Это позволяет эффективно использовать адаптивное управление на разреженной сети в условиях ненасыщенности.

Система RHODES внедрена в нескольких городах США (крупнейшие — Вашингтон и Сиэтл), а также используется в Таксоне (Аризона) в качестве стенда полевых испытаний.

### 3.6. Система SCATS



SCATS = Sydney Coordinated Adaptive Traffic System

Система SCATS была разработана еще в 1970-х годах Управлением дорог и дорожно-го движения штата Новый Южный Уэльс в Австралии. И с тех времен она является одной из лучших методик адаптивного управления дорожным движением на сложных УДС в условиях плотных транспортных потоков. Как и все другие СВУ, методика SCATS основана на изменении длительности фаз и циклов светофорного регулирования на основании данных детекторов транспорта.

У SCATS есть скоординированная иерархическая архитектура с двумя уровнями: стратегического и тактического управления. На стратегическом уровне управления оптимальное время цикла, сдвиг и разбиения определены для области, основываясь на состоянии транспортного потока. Оптимальным временем цикла определено то, которое поддерживает самый высокий уровень насыщения, оптимизация производится каждый цикл. Время цикла увеличивается или уменьшается, поддерживая

уровень насыщения 0,9 на полосе движения с самым большим потоком насыщения. Оптимальные разбиения фазы определены таким образом, чтобы поддерживать равный уровень насыщения на конфликтных направлениях, таким образом минимизируя задержки. Свободная скорость потока и уровень насыщения используются для определения оптимального сдвига, который минимизирует остановки и задержки транспортного потока вдоль магистрали.

На тактическом уровне управления операции формирования сигнального плана в каждом пересечении изменяются в пределах ограничений, наложенных стратегическим уровнем управления. Модификации включают такие операции как пропуск фазы, завершение фазы или продление фазы до максимальной величины. Однако основная магистральная фаза не может быть пропущена или сокращена. Любое время, сэкономленное во время цикла, используется последующими фазами или добавляется к основной фазе для поддержки равной длины цикла системы.

Прогнозная модель не используется, реагирование на изменение параметров транспортных потоков осуществляется реактивно, а не проактивно.

Тем не менее, система очень гибкая и эффективная. Например, с ее помощью можно также управлять дорожным движением на загородных магистралях, и она предлагает алгоритмы для так называемого дозирования въездных потоков. Более того, со времени ее разработки она была дополнена многочисленными алгоритмами, которые используются для приоритезации движения городского транспорта и спецтехники, использования одноранговых сетей, контроля собственной работоспособности и многих других. Более того, у алгоритмов SCATS есть специальный режим работы, который позволяет интегрироваться со средствами моделирования (например, RTV VISSIM), что, в свою очередь, позволяет исследовать то, как различные изменения повлияют на показатели эффективности дорожного движения.

Алгоритмы, основанные на системе SCATS, управляют дорожным движением в 25 странах, более чем 150 городах мира и общим количеством перекрестков, пережившим за 40 000.

### 3.7. Система SCOOT

**SCOOT** SCOOT = Split Cycle Offset Optimization Technique

Система, которая по времени начала разработки, широте использования и мощности алгоритмов может сравниться с уже рассмотренной системой SCATS. Впрочем, некоторые авторы ставят именно систему SCOOT на первое место. Она была также разработана в 1970-х годах британским исследовательским бюро TRRL, после чего внедрена на улицах Глазго, который стал пилотным городом для апробации алгоритмов управления. Затем эту систему реализовали две компании — Imtech Traffic & Infra (Гауда, Нидерланды) и Siemens (Берлин и Мюнхен, Германия).

Система SCOOT использует двухуровневую архитектуру системы управления. Все традиционно: центральный сервер с транспортной моделью и множество подключенных к нему дорожных контроллеров, которым, в свою очередь, поставляют информацию тактические детекторы транспорта на перекрестках. Для корректной работы

алгоритмов требуется точная установка детекторов на определенные места на входящих на перекресток полосах. Поскольку методика была разработана давно, она требует установки индукционных петель, хотя сегодня к контроллерам можно подключать уже любые детекторы транспорта.

Данные с детекторов попадают в прогнозную модель, а оттуда уже в три алгоритма оптимизации, которые непрерывно подстраивают ключевые параметры светофорного регулирования: длительность основной фазы для каждого из конкурирующих направлений, величину сдвига между смежными фазами и длительность самого цикла. Эти три оптимизационных алгоритма используются для адаптации параметров на всех перекрестках, находящихся под управлением системы SCOOT, что позволяет минимизировать потери времени в границах основных фаз и снижать время простоя и задержек на сети. Модель вычисляет степень насыщения для всех пересечений и определяет критическое. Оптимизатор цикла вычисляет оптимальное время цикла раз в пять минут для критического пересечения так, чтобы это обеспечивало уровень насыщения не ниже 0,9. Таким образом назначается оптимальное время цикла на всех перекрестках. Вместе с тем, в рамках системы также можно использовать и фиксированные планы координации.

Исследования в Великобритании показывают, что система SCOOT работает эффективнее при условии близости транспортного потока к насыщению.

Также следует сказать, что SCOOT не оптимизирует последовательности фаз и не гарантирует глобальный оптимум.

Внедрение системы осуществлено в огромном количестве городов по всему миру.

### 3.8. Система UTOPIA



UTOPIA = Urban Traffic Optimization by Integrated Automation

Система UTOPIA была разработана в 1980-х годах компанией MIZAR (Турин, Италия), в настоящее время входящей в конгломерат SWARCO. В рамках системы разработаны алгоритмы для адаптивного управления, которые оптимизируют транспортные потоки в режиме реального времени с учетом приоритета общественного транспорта, при этом важным ограничением является сохранение времени движения для индивидуального транспорта.

UTOPIA, в отличие от SCOOT и SCATS, имеет в своей основе распределенную архитектуру управления. Задача управления транспортной сетью разделена на более простые и строго взаимосвязанные подзадачи. Декомпозиция задачи управления выполнена в соответствии со следующим топологическим правилом — область управления выделяется с перекрытием зон, где каждая зона логически сосредоточена на центральном пересечении и включает соседние. Задача оптимального управления определена для каждой зоны и учитывает данные о движении и информацию о режимах работы светофоров по всем пересечениями в пределах зоны.

Решение зональной задачи управления определяет режим работы светофорного объекта, который будет исполнен только на центральном пересечении, но вследствие



перекрытия между соседними зонами строго согласован с управлением всех соседних пересечений.

Основная задача UTOPIA состоит в оптимизации в реальном времени сигнальных планов с целью минимизации социально-экономической стоимости передвижений в транспортной сети. Затраты на передвижения обычно выражаются в продолжительности задержки движения, эмиссии токсичных компонентов отработанных газов автомобилей и времени движения индивидуального и общественного транспорта.

### 3.9. Сравнительный анализ систем верхнего уровня АСУДД

Национальной академией наук США в 2010 году было проведено глобальное исследование по изучению опыта применения СВУ для АСУДД. В процессе работы учеными был произведен обзор существующей литературы на исследуемую тематику, а также проведено два электронных опроса: для поставщиков/разработчиков десяти известных систем верхнего уровня АСУДД и для агентств, развертывающих эти системы. Опросные листы были направлены 42 североамериканским агентствам и несколькими десятками агентств по всему миру. В итоге было получено порядка 81% запрошенных ответов из числа североамериканских агентств и 11 ответов от других мировых учреждений. Так как учреждения континентальной Европы не проявили большого интереса к проводимому опросу, то представленные на рисунке 12 выводы характерны лишь для Северной Америки и Канады.

Из рисунка 12 видно, что наибольшей популярностью в Северной Америке и Канаде пользуются системы SCOOT и SCAT, несмотря на то, что разработаны они были вне Северной Америки. Такая популярность объясняется тем, что эти системы достаточно

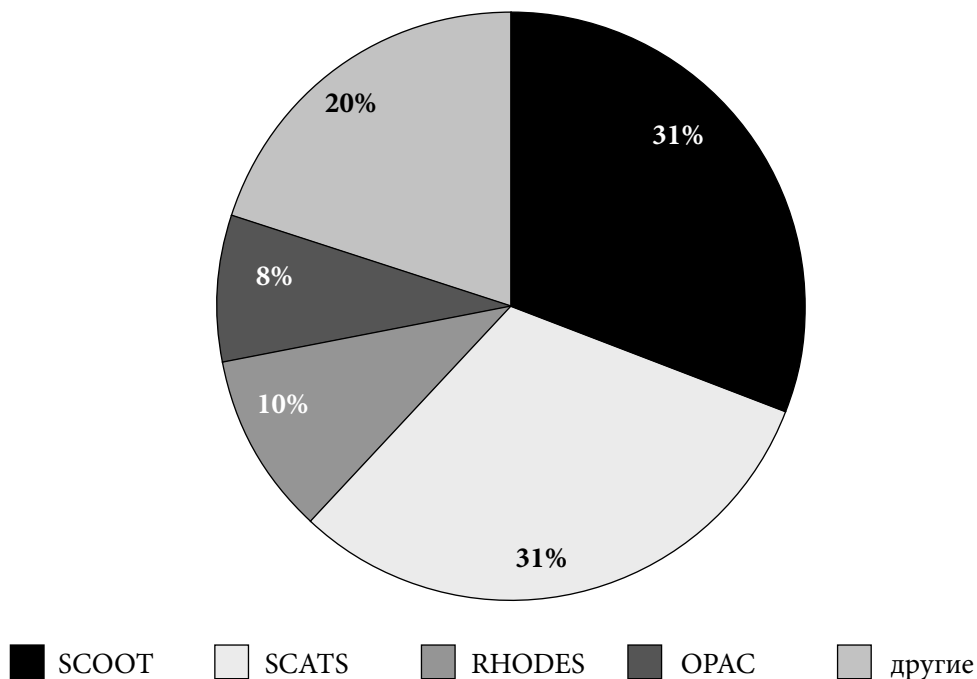


Рис. 12. Доля использования различных СВУ АСУДД

«зрелые», им более 35 лет, в Соединенных Штатах они начали использоваться примерно 20 лет назад. Также разработчики и консультанты этих систем оказывают достаточно сильную техническую поддержку.

По данным опроса, развертывание СВУ является достаточно длительным и сложным процессом и занимает приблизительно 18 месяцев. Скорость внедрения зависит в основном от состояния существующей инфраструктуры, наличия финансирования и квалифицированной технической поддержки разработчиков на месте.

Ниже приведем пояснения для использованных сравнительных параметров.

- ◆ *Расположение детекторов:* СЛ = стоп-линия; РСЛ = рядом со стоп-линией; СП = середина перегона; ХД = после перекрестка по ходу движения (детекторы восходящего потока).
- ◆ *Тип действия:* П = проактивное; Р = реактивное. Некоторые СВУ управляют транспортным потоком проактивно, т. е. на каждом перекрестке «пытаются предугадать» предполагаемый спрос еще до прибытия автомобилей. Другие СВУ действуют путем обеспечения обратной связи с траффиком, измеренным в течение предыдущего интервала. Применение той или иной концепции обычно, но не обязательно, зависит от расположения детекторов. Если используются только детекторы, установленные на стоп-линии, то СВУ обычно работает по типу обратной связи и реагирует с определенной задержкой. Детекторы восходящего потока обычно допускают определенную степень проактивности, хотя системы, использующие эти детекторы, больше полагаются на транспортные модели и оценку спроса на транспорт. Несмотря на общее убеждение, что проактивные системы работают лучше, чем реактивные, нет никаких убедительных доказательств для поддержки такой гипотезы. Некоторые из основных систем объединяют обе концепции. Например, SCOOT проактивно определяет разрывы и смещения, тогда как длина цикла вычисляется реактивно.
- ◆ *Метод оптимизации:* ООД = Оптимизация с ограничением по домену, где домен поисковой оптимизации ограничен, чтобы избежать больших колебаний времени сигнала для предотвращения эффекта отрицательного перехода. ООВ = Оптимизация с ограничением по времени (процесс поиска оптимизации ограничен временными и/или структурными ограничениями, установленными на локальном контроллере). ООП = Оптимизация на основе правил (охватывает любые методы, используемые для разработки (простой) функциональной взаимосвязи между параметрами, которые описывают изменение условий движения и результирующее время сигналов). Существует общепринятое мнение, что большинство СВУ оптимизируют время сигналов. Реальность такова, что некоторые из них выполняют некоторую оптимизацию, которая обычно ограничена его доменом или временем, разрешенным для проведения процесса оптимизации. Некоторые системы для поиска решений используют эвристические методы, тогда как другие используют расширенные методы поиска. Другие формально не оптимизируют (нет процесса поиска и нет объективной функции); вместо этого они корректируют время сигналов, используя некоторые эвристические методы и общие концепции управления транспортными потоками.

- ♦ *Интервал времени* для внедрения нового времени сигналов. Некоторые СВУ настраивают некоторые из своих параметров каждые несколько секунд. Другие — каждые 10–15 минут. Некоторые из СВУ сочетают в себе два подхода. Однако нет никаких доказательств того, что системы, которые реагируют быстрее, всегда лучше менее отзывчивых систем.
- ♦ *Уровень*: Л = локальный; Ц = централизованный. Все рассмотренные в данном отчете системы, так или иначе, работают на двух или более иерархических уровнях. Некоторые системы более иерархичны, чем другие, но все они имеют компонент, который использует операции локальных контроллеров, и компонент, который контролирует чувствительность управления движением на более высоком уровне, вне зависимости от того, выполняется это централизованно или децентрализованно. Например, система SCOOT, считающаяся примером централизованной системы верхнего уровня, также использует зависящие от спроса функции локальных контроллеров для пропуска фаз без спроса.
- ♦ *Под моделированием* понимается использование макроскопических, мезоскопических и микроскопических моделей для оценки условий движения, которые в дальнейшем используются в качестве исходных данных для регулировки времени сигналов. Например, аналитические модели, которые выражают отношения между измеренными и производными переменными движения (такими как поток насыщения, использование фазы и т. д.), не соответствуют определению моделирования, используемому в этом разделе. SCOOT славится своей моделью, которая оценивает длину очереди на основе профилей заполнения потока, получаемых от детекторов восходящего потока. SCATS не использует моделирование движения в своих операциях. Большинство других систем широко используют модели. В целом модели помогают СВУ работать более проактивно, хотя они также могут продуцировать ошибки, которые впоследствии распространяются на другие действия СВУ. Использование моделирования наблюдается в разработанной СВУ для Нью-Йорка, где данные из дорожного контроллера используются для микромоделирования, что, в свою очередь, используется в качестве различных стратегий управления движением (в течение 15-минутных временных интервалов). Несмотря на современный подход к использованию микромоделирования для исследования качества времени сигналов, СВУ требуют, чтобы определенная стратегия управления движением была подтверждена вручную.
- ♦ *Время*: Р = разбивка; ДЦ = длина цикла; С = сдвиг; ПФ = последовательность фаз. Большинство СВУ регулируют сразу три основных типа времени сигналов: разбивку длительности разрешающего сигнала, длину цикла и сдвиги. Однако есть несколько СВУ, которые нельзя отнести к вышеизложенному утверждению потому, что они находятся все еще в разработке или их операции не основываются на перечисленных типах времени сигналов (например, RHODES). И, наоборот, только некоторые СВУ настраивают или оптимизируют последовательность фаз в реальном времени (например, BALANCE, MOTION). Это связано, прежде всего, с тем, что частые изменения в последовательности фаз могут привести к негативным последствиям для движения (частые переходы).

- ♦ *Гибкость.* Для некоторых СВУ (например, SCOOT, SCATS) необходимо разделить всю охватываемую область на те области или подсистемы перекрестков, которые обычно нуждаются в координации. В таком случае пограничные перекрестки одной подсистемы могут иногда выиграть от исключения их из текущей подсистемы и присоединения к соседней подсистеме. Если СВУ поддерживает автоматическую реконфигурацию подсистем, то в таблице написано, что СВУ поддерживает гибкие области.
- ♦ *Адаптивные операции.* Под этим понятием подразумеваются общие операции по адаптивному управлению, выполняемые локальными контроллерами. Большинство СВУ устанавливает верхние и нижние границы разбивки времени зеленого сигнала. Нижняя граница обычно определяется минимальным значением времени зеленого сигнала для каждой фазы. Верхняя граница определяется динамически, ее значение определяется логикой СВУ для каждого цикла. Что происходит между верхней и нижней границами, определяется в зависимости от того, поддерживает ли СВУ адаптивные операции или нет. Для внесения ясности в описанную концепцию необходимо обозначить различия между случаями, когда СВУ при недостатке транспортного спроса «берет на себя ответственность» за окончание фазы зеленого сигнала, и когда такая ответственность передается локальному контроллеру, установленному на перекрестке. Например, система RHODOS не разрешает локальному контроллеру принимать решения. Если RHODES находится в режиме «Online», он выдает команду принудительного отключения для прекращения фазы зеленого сигнала. Эта команда основана на оценке RHODES транспортного спроса, а не на общей логике управления локального контроллера. С другой стороны, система SCATS, а также некоторые другие системы СВУ (например, BALANCE, MOTION) позволяют локальному контроллеру выполнять свою логику управления между вышеупомянутыми нижними и верхними границами.
- ♦ *Приоритет транзитного движения.* Большинство рассматриваемых СВУ предоставляют приоритет для транзитных транспортных средств. Однако этот приоритет часто предоставляется на уровне локального контроллера и не включается в комплексную оптимизацию (интегрирование времени транзита в структуру оптимизации, которая учитывает сетевые и транзитные характеристики сети).

Таблица 1

Сводная сравнительная таблица СВУ АСУДД

	BALANCE	MOTION	OPAC	RHODES	SCATS	SCOOT	UTOPIA
Расположение детекторов	РСЛ	РСЛ	СП	СП + СЛ	СЛ, РСЛ, СП	ХД + СЛ	ХД + СЛ
Тип действия	П + Р	П + Р	П	П	Р	П + Р	П

Окончание таблицы 1

	BALANCE	MOTION	OPAC	RHODES	SCATS	SCOOT	UTOPIA
Метод оптимизации	ООВ	ООВ	ООВ	ООВ	ООП	ООД	ООВ
Интервал времени	5 мин	5–15 мин	Фаза/ цикл/ 5 мин	По- секундно	Цикл	Цикл/ 5 мин	3 с — Цикл
Уровень	Ц/Л	Ц/Л	Ц/Л	Ц/Л	Ц/Л	Ц/Л	Ц/Л
Моделирование	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	Да
Время	Р, ДЦ, С, ПФ	Р, ДЦ, С, ПФ	Р, ДЦ, С	Р	Р, ДЦ, С	Р, ДЦ, С, ПФ	Р, ПФ
Гибкость	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Да
Адаптивные операции	Да	Да	Нет	Нет	Да	Да	Да
Приоритет транзитного движения	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да

По результатам сравнения СВУ можно сделать несколько интересных наблюдений:

- ♦ Высокое сходство систем MOTION и BALANCE объясняется тем, что они были разработаны при одинаковых условиях: местные немецкие законы и стандарты.
- ♦ Системы RHODES и OPAC являются системами, которые не требуют локальных контроллеров для использования собственной логики адаптивного управления.
- ♦ Система SCATS — единственная чисто реактивная система, которая не использует транспортных моделей, и на сегодняшний день это одна из широко используемых СВУ во всем мире.

## ГЛАВА 4. Дорожные контроллеры

### 4.1. Общие положения

Первоначально у авторов данного Тематического обзора была идея собрать воедино актуальные сведения о дорожных контроллерах и на их основе составить сравнительную таблицу с целью упорядочения существующей информации и помощи специалистам в выборе критериев конкурсной документации и непосредственно контроллеров. С этой целью разработчикам контроллеров был выслан 21 запрос на предоставление технических характеристик выпускаемых контроллеров. Большинство запросов осталось без ответа. Всего было предоставлено 7 паспортов. Надеемся, что в перспективе этот список будет существенно расширен.

Набор стоимостных, эксплуатационных и технических характеристик существующих дорожных контроллеров достаточно широк и разнообразен. Сравняя контроллеры по представленным производителями характеристикам, нельзя однозначно сделать вывод о безоговорочном преимуществе того или иного контроллера. В любом случае, необходимо ориентироваться на те характеристики, которые являются оптимальными для выполнения конкретных целей и задач.

Поэтому в настоящем Тематическом обзоре мы попытались уйти от сопоставления контроллеров и представить как можно более полный список характеристик, из которых заказчик может сам выбирать необходимые для сравнения, исходя из требований к конкретным объектам управления и их автоматизации.

Обращаем ваше внимание также на то, что в таблице сравнения не представлен полный перечень признаков сравнения, отсутствует классификация и группировка признаков, например по целевой группе, ввиду отсутствия необходимой информации от поставщиков и полевых испытаний.

Также следует сказать, что существуют базовые контроллеры, а есть их модификации под разные целевые задачи.

Представленный в данной главе материал — это попытка начать работу над систематизацией имеющихся требований, классификаций, подходов. С этой целью мы в Приложении представляем первый вариант анкеты-опросника для производителей контроллеров, пользователей и экспертов. Ждем ваших дополнений и правок к нему.

Мы понимаем, что предоставляемая производителями информация является актуальной лишь в настоящее время, а работа по совершенствованию ведется постоянно, поэтому планируется запустить дополненный опросник через наш сайт и на основе получаемой информации дополнять и совершенствовать представленный материал, формируя он-лайн таблицу с текущим срезом по всем моделям контроллеров.

### 4.2. Построение короткого списка дорожных контроллеров

Для целей настоящего тематического обзора у отечественных и зарубежных производителей дорожных контроллеров были запрошены паспорта, из которых затем

отобраны только те, которые реализуют режимы адаптивного управления<sup>1</sup>. Для зарубежных моделей контроллеров также критерием отбора являлось наличие внедрений в Российской Федерации.

В состав общего множества дорожных контроллеров, по которым были получены паспорта и на основании которого производился отбор «коротких списков» для двух категорий, вошли следующие марки и модели контроллеров (серий контроллеров):

1. ДК	12. <b>КАСКАД</b>	23. <b>СТРЕЛКА</b>
2. ДК2	13. КДА-2	24. <b>ТАКТ</b>
3. ДК-АТ	14. КДК-2	25. УК-2
4. ДКД	15. КДМ	26. <b>УК-4</b>
5. ДКМ	16. КДУ	27. COBALT
6. ДКС-ДН	17. КС-1	28. <b>ЕС-2</b>
7. ДКСМА	18. КС-2	29. <b>ИТС-2</b>
8. <b>ДКСМ-АМ</b>	19. КСО	30. MFU3000
9. ДКСМН	20. МДК	31. <b>RS-4</b>
10. ДКСТ	21. <b>СИНТЕЗ</b>	32. SIMATIC
11. ДУМКА	22. <b>СПЕКТР</b>	

Из представленного множества дорожных контроллеров в качестве отечественных образцов в состав короткого списка отобраны: ДКСМ-АМ, КАСКАД, СИНТЕЗ, СПЕКТР, СТРЕЛКА, ТАКТ и УК-4. В состав короткого списка зарубежных дорожных контроллеров вошли следующие модели: ЕС-2, ИТС-2 и RS-4. Все отобранные контроллеры выделены в списке выше жирным шрифтом.

### 4.3. Характеристика отечественных образцов

Для сравнения отечественных образцов дорожных контроллеров была подготовлена специальная таблица, в которую вошло максимальное количество коммерческих, технических и эксплуатационных характеристик. Эта таблица была разослана производителям дорожных контроллеров, которые попали в короткий список. Каждый производитель либо прислал в ответ заполненную таблицу по своему контроллеру совместно с подтверждающими документами (паспорт или формуляр изделия, технические условия, если есть), либо отказывался от выполнения этой работы. В последнем случае таблица заполнялась коллективом авторов на основании информации из паспорта соответствующего дорожного контроллера.

Итоговая сравнительная таблица выглядит следующим образом:

<sup>1</sup> Под возможностью адаптивного управления каждый производитель может понимать различный набор функциональных параметров, который не является унифицированным.

**Результаты сравнения дорожных контроллеров  
отечественного производства из короткого списка**

Показатель	ДКСМ-АМ	КАСКАД	СИНТЕЗ	СПЕКТР	СТРЕЛКА	ТАКТ	УК-4
Производитель	НПО «Автоматика-Д»	ОАО «Электро-механика»	ООО «ВойсЛинк»	ООО «Рипас СПб»	Строй Инвест Проект М	АО «МариМЗ»	ООО «Элсistar»
Страна производителя	Россия	Россия	Россия	Россия	Россия	Россия	Россия
Контактное лицо	Липартелиани Шурман Григорьевич	Белякова Вера Анатольевна	Чусовитин Роман Вадимович	Карасин Ефим Яковлевич			
Электронный адрес	avtomatika-d@inbox.ru	vera.belyakova@mail.ru	rchusovitin@voice-link.ru	efim@ripas.ru		mark@marimmz.ru	arkhast@mail.ru
КОММЕРЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ							
Стоимость одного изделия, руб., минимум	270 220	47 771	120 000	283 200	600 000		45 000
Стоимость одного изделия, руб., максимум	270 220	133 534	1 200 000	495 600	1 200 000		95 000
Возможная скидка за объем, %	3		10	10	0		0
Стоимость технического обслуживания в год, руб.	27 022		66 000		90 000		7 000
ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ							
Управление с ВПУ	Да	Да	Да	Да	Да		Да
Диспетчерское управление из центра	Да	Да	Да	Да	Да		
Программное управление	Да	Да	Да	Да	Да		Да
Координированное управление	Да	Да	Да	Да	Да		Да
Бесцентровое управление		Да	Да	Да	Да		Да



Продолжение таблицы 2

Показатель	ДКСМ-АМ	КАСКАД	СИНТЕЗ	СПЕКТР	СТРЕЛКА	ТАКТ	УК-4
Локальный адаптивный режим управления	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Сетевой адаптивный режим управления	Нет	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет
Контроль включения всех силовых групп	Да	Да	Да	Да			Да
Контроль конфликтных ситуаций	Да	Да	Да	Да			
Контроль несанкционированного включения	Да	Нет		Да			
Контроль перегорания нитей красных сигналов		Да	Да	Да			
Контроль перегрузки и короткого замыкания силовых групп	Да	Да	Да	Да			Да
Контроль общей работоспособности силовых групп	Да	Да		Да	Да		
Контроль собственной работоспособности		Да		Да	Да		
Контроль доступа в шкаф		Нет	Да	Да			
Количество силовых групп, минимум	2	3	2	16	6		
Количество силовых групп, максимум	96	24	124	244	96	16	32

Показатель	ДКСМ-АМ	КАСКАД	СИНТЕЗ	СПЕКТР	СТРЕЛКА	ТАКТ	УК-4
Минимальный ток нагрузки одной выходной силовой цепи, мА	60	40		15			
Максимальный ток нагрузки одной выходной силовой цепи, А	2	2	4	2	2	3	5
Общий ток нагрузки, коммутируемый в любой момент времени, А	40	15	16	30	16		25
Вид подключаемых светофоров: ламповые	Да	Да	Да	Да			Да
Вид подключаемых светофоров: светодиодные	Да	Да	Да	Да			
Контроль ламп	Да	Да	Да	Да			
Контроль светодиодных панелей	Да	Да	Да				
Число миганий в минуту, минимум	60	59	55	55			
Число миганий в минуту, максимум	60	61	65	65			
Длительность включенного состояния сигналов, с, минимум	0,5	0,5	0,5	0,5			
Длительность включенного состояния сигналов, с, максимум	0,5	0,55	0,5	240			

Продолжение таблицы 2

Показатель	ДКСМ-АМ	КАСКАД	СИНТЕЗ	СПЕКТР	СТРЕЛКА	ТАКТ	УК-4
Количество регулируемых фаз движения	16	8	50	8	8	8	16
Количество регулируемых направлений движения	48	8	124	32	32		18
Количество программ регулирования	32	8	50	16		20	16
Количество подключаемых детекторов транспорта	128	16	256	32			
Типы подключаемых детекторов транспорта: радиолокационный		Да	Да	Да	Да		
Типы подключаемых детекторов транспорта: инфракрасный		Нет	Да	Да	Да		
Типы подключаемых детекторов транспорта: видеодетектор		Нет	Да	Да	Да		
Типы подключаемых детекторов транспорта: индуктивная петля		Нет	Да	Да	Да		
Типы подключаемых детекторов транспорта: магнитометр		Нет	Да	Да			
Количество выходных каналов для подключения ТООВ		0		16			
Количество входных каналов для подключения ТВП	8	4	2	4			4

Показатель	ДКСМ-АМ	КАСКАД	СИНТЕЗ	СПЕКТР	СТРЕЛКА	ТАКТ	УК-4
Возможность подключения ВПУ	Да	Да	Да	Да	Да		Да
Возможность подключения УДЗ		Нет	Да	Да			
Прием сигнала от спецтранспорта		Нет	Да	Да			
Управление приоритетом наземного пассажирского транспорта		Нет	Да	Да	Да		
Интервал изменения длительности основных тактов, с, минимум	1	1	1	1	1		
Интервал изменения длительности основных тактов, с, максимум	999	255	999	240	255		
Интервал изменения длительности промежуточных тактов, с, минимум	3	1	1	1	1		
Интервал изменения длительности промежуточных тактов, с, максимум	255	255	999	240	75		30
Интервал изменения длительности минимального времени зеленого, с, минимум	3	1	1	1	1		
Интервал изменения длительности минимального времени зеленого, с, максимум	999	255	999	240	25		

Продолжение таблицы 2

Показатель	ДКСМ-АМ	КАСКАД	СИНТЕЗ	СПЕКТР	СТРЕЛКА	ТАКТ	УК-4
Интервал изменения длительности максимального времени красного, с, минимум	60	1	1	1			
Интервал изменения длительности максимального времени красного, с, максимум	999	255	999	240			
Максимальная длительность цикла, с	9999	5760	999	240			98
Дискретность изменения длительности основных и промежуточных тактов, с	1	1	1	0,1			1
Погрешность отсчета интервалов времени, %		2	1	0,5			1
Параметры окружающего воздуха при эксплуатации: температура, °С, минимум		-40	-45	-40	-40		-40
Параметры окружающего воздуха при эксплуатации: температура, °С, максимум		70	70	50	70		50
Параметры окружающего воздуха при эксплуатации: влажность, %, минимум		0	0		0		
Параметры окружающего воздуха при эксплуатации: влажность, %, максимум		98	95	98	99		95

Показатель	ДКСМ-АМ	КАСКАД	СИНТЕЗ	СПЕКТР	СТРЕЛКА	ТАКТ	УК-4
Непрерывная круглосуточная работа		Да	Да	Да	Да		Да
Работа в стационарных условиях на открытом воздухе		Да	Да	Да	Да		Да
Порт Ethernet	Да	Да	Да	Да	Да		
Порт Ethernet, скорость, Мбит/с	100	100	50	100	1024		
Порт RS485	Да	Да		Да	Да		
Порт RS232		Да		Да	Да		
Связь через сотовую сеть (2G, 3G, LTE)	Да	Да	Да	Да			
Встроенный источник бесперебойного питания	Да	Нет		Да			
Встроенный счетчик электроэнергии	Да	Да		Да			
Встроенный GLONASS-приемник	Да	Нет		Да			
Встроенный сенсорный экран		Нет	Да	Нет	Да		
Цветной экран		Нет	Да	Нет			
Интерфейс на русском языке		Да	Да	Да	Да		
Наличие встроенных часов		Да	Да	Да			
Ход часов при отключении питания, ч		52 560	2400	8760	500		
Напряжение питания, В, минимум	187	176	160	187		85	187

Продолжение таблицы 2

Показатель	ДКСМ-АМ	КАСКАД	СИНТЕЗ	СПЕКТР	СТРЕЛКА	ТАКТ	УК-4
Напряжение питания, В, максимум	242	253	242	244		250	242
Частота питания, Гц, минимум	49	49	49	49		50	50
Частота питания, Гц, максимум	51	51	51	51		50	50
Мощность потребления, Вт		40	60	50		15	40
Габаритные размеры шкафа: высота, мм	1350	650	1600	800	440	380	325
Габаритные размеры шкафа: ширина, мм	810	605	800	600	260	400	530
Габаритные размеры шкафа, глубина, мм	515	220	600	350	325	130	545
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150		УХЛ 1	У1	У1	У1		У2
Степень защиты от воздействия влаги и пыли по ГОСТ 14254-96		IPX4	IPX4	IP54	IP66		
Виброустойчивость по ГОСТ 12997		N2	L3	L3			
Антикоррозийное покрытие внутренних поверхностей по ГОСТ 9.032		Да	4	5			
Антикоррозийное покрытие внешних поверхностей по ГОСТ 9.032		Да	5	4			
Масса комплекта в сборе, кг	145	35	150	150	59	15	30
Средняя наработка на отказ, ч	12000	10000	10000	10000	10000		

Показатель	ДКСМ-АМ	КАСКАД	СИНТЕЗ	СПЕКТР	СТРЕЛКА	ТАКТ	УК-4
Средний срок службы, лет	12	8	10	8	5		10
Среднее время восстановления работоспособного состояния, ч	0,5	1	1	1	1		
<b>ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ</b>							
Технический паспорт на изделие	Да	Да	Да	Да	Да		Да
Технические условия на изделие		Да	Да	Да			
Руководство по эксплуатации на изделие		Да	Да	Да	Да		Да
Сертификат соответствия	Да	Да	Да	Да			
Наличие заключения НИЦ ГИБДД на изделие		Нет	Да	Да			
Гарантийный срок хранения, мес.	6	6	24	6			
Гарантийный срок эксплуатации, мес.	18	24	18	18	18		24
Срок переконсервации, мес.	12	6					
Количество внедрений	2	2859	30	1000	2000	0	1000
Количество регионов внедрения	2	50	2	10	10	0	10
Наличие внедрений за рубежом	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Нет	Нет
Проведение гарантийного ремонта	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	
Проведение технического обслуживания	Да	Нет	Да		Да	Нет	Да



#### 4.4. Характеристика зарубежных образцов

Для сравнения дорожных контроллеров зарубежного производства использовалась информация из рекламных буклетов и таблиц технических характеристик (англ. *data sheet*), поскольку паспортов, формуляров или технических условий на такие контроллеры не существует. Поэтому итоговая сравнительная таблица получилась намного уже с точки зрения полноты характеристик, чем таблица для отечественных образцов.

Итоговая сравнительная таблица выглядит следующим образом:

Таблица 3

##### Результаты сравнения дорожных контроллеров зарубежного производства из короткого списка

Показатель	ЕС-2	ITC-2	RS-4
Страна производителя	Нидерланды	Швейцария	Чехия
<b>КОММЕРЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>			
Стоимость одного изделия, руб.	650 000	1 200 000	500 000
Возможная скидка за объем, %	10	7	5
Стоимость технического обслуживания в год, руб.	65 000	120 000	50 000
<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>			
Количество силовых групп, минимум	0		
Количество силовых групп, максимум	48	192	64
Ток нагрузки одной выходной силовой цепи, А			2
Общий ток нагрузки, коммутируемый в любой момент времени, А			
Количество регулируемых фаз движения		32	
Дискретность изменения длительности основных и промежуточных тактов, с			
Количество программ регулирования		16	60
Количество выходных каналов для подключения ТООВ			
Количество входных каналов для подключения ТВП		1	118
Интервал изменения длительности основных тактов, с, минимум			
Интервал изменения длительности основных тактов, с, максимум			
Параметры окружающего воздуха при эксплуатации: температура, °С, минимум	-25	-45	-40
Параметры окружающего воздуха при эксплуатации: температура, °С, максимум	50	80	60

Показатель	ЕС-2	ITC-2	RS-4
Параметры окружающего воздуха при эксплуатации: влажность, %, минимум	5		
Параметры окружающего воздуха при эксплуатации: влажность, %, максимум	95		
Порт Ethernet	Да		Да
Порт Ethernet, скорость			
Порт RS485	Нет		Да
Порт RS232	Нет	Да	Да
Ход часов при отключении питания, ч			
Напряжение питания, В, минимум	184	220	200
Напряжение питания, В, максимум	265	220	253
Частота питания, Гц, минимум	48	50	50
Частота питания, Гц, максимум	52	60	50
Мощность потребления, Вт	100	80	200
Габаритные размеры шкафа: высота, мм	400		
Габаритные размеры шкафа: ширина, мм	500		
Габаритные размеры шкафа: глубина, мм	300		
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150			
Степень защиты от воздействия влаги и пыли по ГОСТ 14254-96	IP44	IPX4	IP54
Масса комплекта в сборе, кг			
Средняя наработка на отказ, ч		10000	
Средний срок службы, лет		10	
Среднее время восстановления работоспособного состояния, ч			
Локальный адаптивный режим управления			
Технический паспорт на изделие	Да	Да	Да
Руководство по эксплуатации на изделие	Да	Да	
<b>ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ</b>			
Количество внедрений	500	2500	500
Количество регионов внедрения	5	2	3
Наличие внедрений за рубежом	Да	Да	Да
Проведение технического обслуживания	Да	Да	Нет

## Список литературы

1. *Горошко В. С.* Классификация характеристик адаптивных систем управления дорожным движением // Современные логистические технологии в развитии аэрокосмического комплекса. — 2013. — (Актуальные проблемы авиации и космонавтики).
2. ГОСТ 24.501-82. Автоматизированные системы управления дорожным движением. Общие требования.
3. *Джетенова С. Н.* Анализ методов управления движением транспортных потоков // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. — 2014. — Т. 14. — № 12.
4. *Кременец Ю. А., Печерский М. П., Афанасьев М. Б.* Технические средства организации дорожного движения. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2005.
5. ОДМ 218.6.003-2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах.
6. *Петров В. В.* Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах. — Омск: СибАДИ, 2007. — 104 с.
7. *Петров Е. А., Вольф Д.* Адаптивная система управления дорожным движением в составе городской ИТС // Дорожная держава. — 2012. — № 40.
8. *Пугачев И. Н., Горев А. Э., Олещенко Е. М.* Организация и безопасность дорожного движения. — М.: Издательский центр «Академия», 2009. — 272 с.
9. *Титов А. Ю.* Сравнительный анализ аппаратно-программных средств управления дорожным движением. — 2014.
10. National Academy of Sciences USA: Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice. — Washington, 2010.

## Приложение

### Опросник по дорожным контроллерам

Ассоциация транспортных инженеров проводит исследование по дорожным контроллерам. Целью этого исследования является синтез современной практики применения дорожных контроллеров в Российской Федерации. Ваш опыт очень важен для оценки эффективности и применимости дорожных контроллеров в РФ.

Просим производителей и пользователей заполнить анкету и выслать нам на почтовый ящик [info@traffic-ing.ru](mailto:info@traffic-ing.ru).

Для удобства при ответах на вопросы секции 3 необходимо придерживаться следующей кодировки:

- 1 — определено ДА;
- 2 — определено НЕТ;
- 3 — ДА, возможно при соответствующей настройке конфигурации ДК (выбор пользователя, полностью обеспечиваемый его собственными действиями);
- 4 — ДА, возможно при соответствующем задании от пользователя (не обеспечивается пользовательской конфигурацией, однако может быть выполнено производителем при заказном обновлении встроенного ПО — без необходимости аппаратного апгрейда);
- 5 — это свойство запланировано к реализации и ОПРЕДЕЛЕННО будет выполнено в течение 6 месяцев как обновление микропрограммного кода контроллера, без необходимости выхода новой аппаратной ревизии (к моменту публикации следующей версии обзора);
- 6 — это свойство запланировано к реализации и ОПРЕДЕЛЕННО будет выполнено в течение 6 месяцев как новая аппаратная ревизия (к моменту публикации следующей версии обзора);
- 7 — это свойство запланировано к реализации и ОПРЕДЕЛЕННО будет выполнено в следующих аппаратно-программных ревизиях (без указания срока);
- 8 — определено НЕТ, и не планируется, т. к. считаем его избыточным.

#### СЕКЦИЯ 1. Информация об интервьюируемом

1	ФИО	
2	Наименование организации	
3	Должность	
4	Адрес	
5	Телефон	
6	E-mail	
7	Группа пользователя (производитель, эксперт, пользователь)	

## СЕКЦИЯ 2. Общая информация

1	Название ДК	
2	Производитель ДК	
3	Город производства	
4	Марка	
5	Год выпуска	
6	Web-ссылка на документацию	
7	Существуют ли модификации контроллера в рамках единого общего названия, существенно отличающиеся по реализованному алгоритму управления, функциональным возможностям? <sup>1</sup>	

## СЕКЦИЯ 3. Пофазное светофорное регулирование

3.1. Поддерживает ли контроллер идеологию пофазной работы?<sup>2</sup>

---

3.2. Количество фаз в цикле светофорного регулирования, которое может быть описано пользователем в конфигураторе данного контроллера<sup>3</sup>:

---

3.3. Обеспечивает ли контроллер произвольный порядок следования (переключения) фаз при их вызове из центра управления или ВПУ?<sup>4</sup>

---

3.4. Соблюдаются ли при этом требования контроля минимально допустимой длительности фазы исходя из требований безопасности?

---

3.5. При количестве фаз более 2 — обеспечивается ли корректное формирование промежуточных тактов при произвольном порядке вызова и включения фаз?

---

<sup>1</sup> Например — дешевая версия с более простыми функциональными возможностями для использования на «простых» перекрестках и более дорогая версия — с широкими алгоритмическими функциями.

<sup>2</sup> Фаза — набор заданных состояний сигнальных групп, регулирующих направления движения на перекрестке, действующих в цикле светофорного регулирования в течение заранее заданного времени, или в заданных временных пределах (длительность изменяется по состоянию детектора транспорта). Для достижения заданного целевого состояния включения необходимого набора сигнальных групп — интервал времени действия фазы включает в себя переходное состояние (промежуточный такт). Таким образом, фаза, как целевое состояние множества сигнальных групп, начинается с переходного интервала.

<sup>3</sup> Указывается точное число от 2 до 32, или НЕТ ОГРАНИЧЕНИЙ.

<sup>4</sup> Не только жестко заданная последовательность 1–2–3–4, но и возможность выполнения 1–4–2–3, 1–3–4–2 и т. д.

- 3.6. Можно ли отнести контроллер к контроллерам интервального типа — т. е. контроллерам, в которых цикл описан последовательностью состояний каждой из сигнальных групп во времени, включая переходные состояния?<sup>5</sup>
- 

Если нет — используется ли форма задания промежуточных тактов, как описание последовательностей/длительностей переключения сигнальных групп для каждой из используемых комбинаций фаз (1 → 2, 2 → 3, 3 → 1, 1 → 3, 3 → 2 ...)?

---

- 3.7. Предусмотрено ли в контроллере задание матрицы допустимых (разрешенных) переходов между фазами?
- 

- 3.8. Обеспечивает ли контроллер коррекцию продолжительности фазы/направления в реальном времени в части продления по признаку отсутствия разрыва в потоке? (или — сокращение фазы по разрыву в потоке — МГР)
- 

- 3.9. Обеспечивается ли задание пользователем длительности времени для срабатывания критерия разрыва  $T_{гар}$  — отдельно для каждого детектора или фазы/направления?
- 

- 3.10. Обеспечивается ли динамическая коррекция  $T_{гар}$  в зависимости от продолжительности горения разрешающего сигнала в данной фазе/направлении?
- 

- 3.11. Обеспечивается ли динамическая коррекция  $T_{гар}$  в зависимости от числа проехавших транспортных средств в данной фазе/направлении?
- 

- 3.12. Используется ли динамическая коррекция максимального времени выдачи зеленого  $T_{green-max}$  для фазы/направления по признаку недообслуживания очереди в нескольких циклах подряд?
- 

- 3.13. Используется ли коррекция минимального времени зеленого фазы/направления по длине зарегистрированной очереди, сформированной за время запрещающего сигнала?
- 

<sup>5</sup> Работу контроллера определяет заданная диаграмма горения — в виде посекундного описания, или описания длительности фиксированных состояний светофоров в последовательности — зеленый, зеленое мигание, красно-желтый, и т. п.

3.14. Используется ли для прерывания фазы/направления признак недонасыщенного потока по аккумулярованным потерям времени (Waste time)?

---

3.15. Обеспечивает ли контроллер пропуск фазы в цикле в случае необнаружения детектором запросов на обслуживание ТС или пешеходов (кнопка ТВП)?

---

3.16. Обеспечивает ли дорожный контроллер вставку вызванной фазы в произвольное место цикла, с соблюдением всех необходимых интервалов безопасности при выключении конфликтующих фаз?

---

3.17. Обеспечивает ли дорожный контроллер автоматическое изменение длительностей фаз или направлений в цикле (имеется в виду именно плавное изменение, а не переключение заранее сформированных сигнальных планов) в зависимости от статистики загруженности подходов?

---

По какому критерию? (интенсивность за период наблюдения, занятость, скорость, свой критерий)

---

3.18. Обеспечивает ли дорожный контроллер ситуационное управление — автоматическое изменение длительностей фаз или направлений в цикле путем переключения заранее сформированных сигнальных планов — в зависимости от статистики загруженности подходов?

---

По какому критерию? (интенсивность за период наблюдения, занятость, скорость, свой критерий)

---

3.19. Обеспечивает ли контроллер режим бесцентровой координации?

---

по внутренним часам, синхронизованным с мировым временем? \_\_\_\_\_  
поддержка синхронизации системных часов по сетевому протоколу NTP? \_\_\_\_\_  
контроллер может быть сервером NTP для других контроллеров в сети? \_\_\_\_\_  
поддержка синхронизации часов по приемнику GNSS? \_\_\_\_\_  
по синхросигналу, передаваемому по локальной линии связи между соседними дорожными контроллерами? \_\_\_\_\_

3.20. Обеспечивает ли контроллер возможность передачи данных детекторов на соседний пост и работу с детекторами соседнего поста?

---

**Тематический обзор Ассоциации:  
системы адаптивного управления дорожным движением  
и дорожные контроллеры**

Корректор *Л.Н. Николаева*

Оригинал-макет подготовлен  
ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА»

Подписано в печать 20.11.2017. Формат 60 × 90 1/8.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Minion Pro.  
Объем 6 п. л. Тираж 300 экз. Заказ № 00000.

Отпечатано в типографии ООО «ИПК «БИОНТ»  
Санкт-Петербург, В.О., Средний пр., д. 86.