

УДК 628.975

Ключевые слова: светодиодный светофор, светофорный объект, дорожный контроллер, безопасность движения, «умный» перекресток, «умный» город, БРИКС, реглобализация.

Олег Зотин | o_zotin@mail.ru

Об автодорожных светофорах будущего. Часть пятая

80-летию Победы посвящается

Сражение выигрывает тот, кто твердо решил его выиграть.

Лев Толстой. Война и мир. Из монолога князя Андрея Болконского

В предыдущих статьях на эту тему [1–4] был подробно представлен ход ретроспективно-перспективного расследования, посвященного развитию светофорной сигнализации. Проведен разбор всевозможных (удачных и не очень) попыток модернизации светофорного регулирования, предпринятых в разное время в разных странах; представлены собственные предложения по кардинальной переделке светофорных сигналов с выстраиванием концепции инновационного светофоростроения.

На следующем этапе представляется необходимым, с одной стороны, разобраться с внутренним устройством таких светофоров, а с другой — понять, как следует ими управлять.



Рис. 1. Военная регулировщица у Бранденбургских ворот. Берлин, 8 мая 1945 года

Сто лет назад первые светофоры, как правило, были простейшими одиночными светотехническими изделиями с предельно простым управлением. Размещались они на высокой опоре или на тросовом подвесе над пересечением автодорог. Современное светофорное хозяйство на перекрестке представляет собой множество (иногда до нескольких десятков) синхронно управляемых светофоров для авто, пешеходов, трамваев и различных средств индивидуальной мобильности (СИМ), поэтому получило солидное название: светофорный объект (СО). Автоматическое управление таким СО осуществляется специальным контроллером, устанавливаемым, как правило, в отдельном шкафу [5]. Необходимо также учитывать, что постоянно наращиваемая функциональность светофоров приводит к усложнению как их светодиодной начинки, так и устройств ею управляющих. В общем виде задачи управления инновационными светофорами были сформулированы еще в [3].

Прежде чем перейти к конкретным предложениям по реализации такого управления, остановимся на принципиальных итогах предыдущих этапов, начав с предельно краткого обзора эволюции светофорного регулирования и концентрируя внимание на автодорожном типе светофора. Попытка по-новому взглянуть на светофорные инновации поможет нам выявить как не самые очевидные достоинства, так и возможные недостатки предлагаемых решений, что должно способствовать дальнейшему прогрессу в этой области.

Из истории светофорного регулирования

*...Нам дороги эти
Позабить нельзя.*

Лев Ошанин. Дороги. 1945

Первая попытка внедрения автоматизированного управления движением на перекрестках была вызвана необходимостью упорядочить движение конных повозок. Она была предпринята в Лондоне, на съезде с Вестминстерского моста к зданию парламента. Однако взорвавшийся газовый фонарь первого дорожного светофора-семафора надолго отбил желание хоть как-то попытаться автоматизировать управление движением. В результате еще долгие десятилетия движение конного,

а затем и автомобильного транспорта приходилось регулировать полисменам, которые руками указывали разрешаемые направления перемещения. В темное время суток при отсутствии какого-либо уличного освещения им приходилось надевать белые плащи (или нарукавники) и даже подсвечивать себя теми же небезопасными газовыми светильниками [1].

Вторая, и уже вполне удачная попытка введения светофорного регулирования осуществилась на пике второй промышленной революции в Северо-Американских Соединенных Штатах (так тогда называли США) сразу после Первой мировой войны. Внедрение целого ряда инноваций в автомобилестроении, таких как карбюраторный двигатель внутреннего сгорания, свинцово-кислотный аккумулятор, электростартер, электрическая лампа накаливания, пневматические колеса, технология конвейерной сборки и многое другое, привели к тотальной автомобилизации страны, что вызвало взрывной рост дорожно-транспортных происшествий (особенно на перекрестках) и заставила активно работать изобретательскую мысль. Возможность простейшего управления (подачей напряжения) и удачная конструкция ламп накаливания позволили создать ряд вариантов светофоров, а революционное добавление промежуточного желтого сигнала к использованным первоначально двум железнодорожным сигналам (красному и зеленому) обеспечило более правильное взаимодействие с водителями, что в конце концов и привело к широчайшему распространению трехсекционного типа светофора во всем мире.

Европейцы в целом позаимствовали североамериканские идеи управления дорожным движением, однако довольно скоро пути двух цивилизаций начали расходиться в частности. Например, дорожные европейские знаки изначально проектировались как символичные картинки, а североамериканские — как текстовые.

Кроме этого, приходится учитывать, что во многих странах существовало левостороннее движение, которое впервые было принято еще на дорогах Римской империи. В современном мире это касается Великобритании и многих ее бывших колоний и зависимых территорий, а также Японии. Во Франции и России еще в XVIII веке было законодательно закреп-



Рис. 2. Вариант транспортного светофора в Москве в 1957 году

лено правостороннее движение. Странам бывшей Австро-Венгерской империи пришлось перейти на правостороннее движение после их захвата Германским рейхом в 1938–1941 годах. По окончании Второй мировой войны об обратном переходе уже и речи быть не могло. Тем не менее на Окинаве в 1978 году (через шесть лет после возврата контроля Японии над этим островом) обратный переход произошел. Характерно, что Швеция (1967) и Исландия (1968) добровольно внедрили правостороннее движение. Главной причиной этого стала необходимость принятия единых европейских правил дорожного движения (ПДД), особенно учитывая почти повсеместное использование в этих странах автомобилей с левым расположением руля. В Испании и Португалии аналогичные изменения прошли существенно раньше (в 1924 и 1928 годах соответственно) и гораздо проще.

После Второй мировой войны для повышения безопасности и упорядочивания движения на перекрестках в европоцентричном мире появились и были стандартизованы боковые секции автодорожных светофоров, что было закреплено Венской конвенцией [6]. Североамериканцы же по-своему решили эти вопросы, введя два особых вида четырех- и пятисекционных светофоров: вертикальные линейные¹ и типа «собачьей будки» (doghouse). В по-

следнем из них были две секции с желтой и зеленой стрелками, управляющие левым поворотом, что по мнению ряда заокеанских экспертов позволило существенно уменьшить число происшествий на перекрестках, избегая так называемой желтой ловушки (yellow trap) [7]. При этом в некоторых штатах были введены свои, местные правила чередования фаз (Dallas phasing, Arlington phasing), а также виды светофоров. Поворот же направо при красном сигнале с пропуском едущих на зеленый в США почти повсеместно разрешен. Это касается также ряда других западных стран, а также Китая.

В еще меньшей степени международная унификация коснулась других типов светофоров, не охваченных в свое время Венской конвенцией, что было отмечено в [3]. Это двухсекционные пешеходные светофоры, белые трамвайные (применяемые и для других видов общественного транспорта), а также велосипедные.

Более подробно этапы развития светофорного регулирования, продвигавшегося, по большей части, методом проб и ошибок и отличающегося разнообразными вариациями, описаны в предыдущих статьях цикла [1, 4].

На рис. 3 показан результат того, к чему после многочисленных преобразований пришла отечественная светофорная мысль. Представлен вариант воплощения транспортного светофора для довольно сложного перекрестка с обеспечением учета совмещенных фаз. Наряду с тремя основными (красная + желтая + зеленая) и двумя боковыми секциями установлены (согласно последним изменениям ПДД) две информационные мигающие белые секции, показывающие водителям наличие совмещенного движения с пешеходами (при левом и правом поворотах). Такие белые секции располагают ниже светофора, но прикручивают их в совершенно произвольных местах, поскольку это пока нигде четко не регламентировано.

В то же время важно отметить все более отчетливую тенденцию к отображению нескольких сменяющих друг друга сигналов в одной секции светофора, что впервые проявилось даже раньше внедрения в них светодиодов. Первыми

¹ В Москве в 1957 году было установлено несколько четырехсигнальных вертикальных светофоров такого рода (рис. 2), которым удалось недолго покрасоваться у Центрального телеграфа и в ряде других знаковых мест столицы до присоединения СССР к Венской конвенции в 1959 году [8].

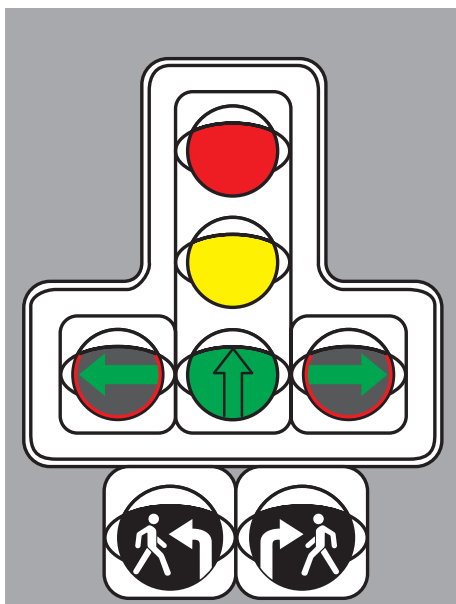


Рис. 3. Вариант современного отечественного транспортного светофора

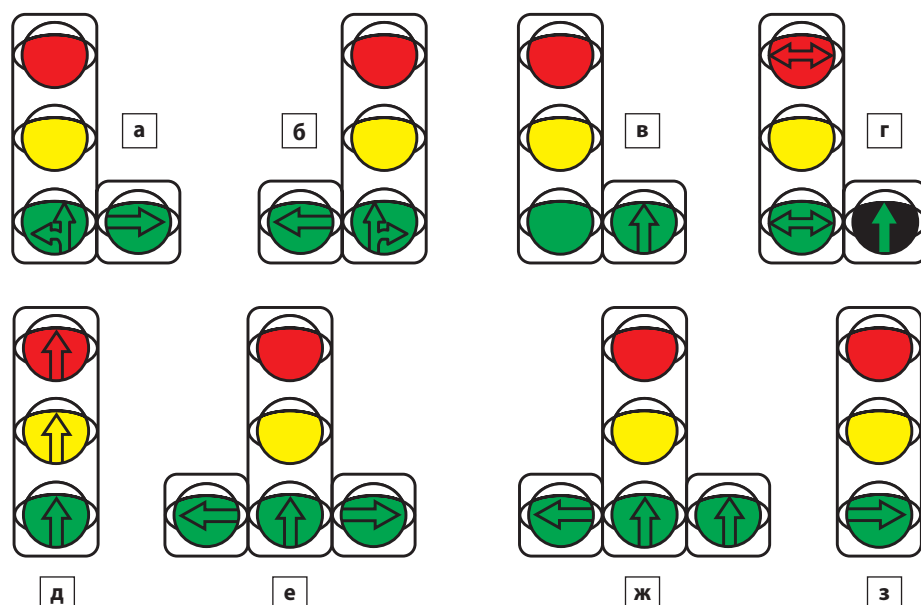


Рис. 4. Ряд возможных вариантов современного отечественного транспортного светофора с контурными стрелочками

прижились красные колечки в боковых секциях светофоров, обозначающие запрет поворотов. В желтой секции удалось разместить цифровое двухцветное табло обратного отсчета времени (ТООВ) для красного и зеленого сигналов. До этого различные модификации двухрядных семисегментных ТООВ выполнялись в виде отдельных устройств, расположенных рядом со светофором. Для увеличения размера цифр ТООВ в последних вариантах автодорожных светофоров секции делают даже в форме квадрата при сохранении неизменной круглой формы сигналов.

Дальнейшая эволюция светофоров будет заключаться в более решительном переходе к сокращению числа секций с совмещением в них нескольких сигналов. Отдельные попытки такого подхода уже наблюдаются. Так в [4] были разобраны не совсем удачные варианты размещения бело-лунных информационных пешеходных сигналов в центральной (желтой) секции светофора. Еще одна аналогичная модернизация касается улучшения опробованного в Париже сигнала в виде дополнительной спецсекции с красным крестом (показывающим запрет движения для встречных авто) [2], что должно повышать безопасность при левом повороте. В марте этого года в Москве анонсирован вариант размещения аналогичного по назначению сигнала, но в виде белого креста в верхней (красной) секции «классического» светофора.

Стоит также отметить большое количество вариантов использования контурных стрелок в центральной и в боковых секциях, которые все чаще встречаются на наших улицах, что поражает воображение и с трудом поддается систематизации. Некоторые из таких светофоров изображены на рис. 4. Так, светофор на рис. 4г (такой стоит в Санкт-Петербурге на пересечении улицы Дыбенко и проспекта Большевиков [2]) центральным зеленым сигналом разрешает только повороты налево и направо, а по боковой стрелочке разрешает движение прямо, но с пропуском авто, двигающихся по главной дороге.

Вдумчивые автоэксперты отмечают, что после многократных и разнородных переделок исторически сложилась не самая простая логика представления сигналов светофорного регулирования, ввиду чего современные ПДД требуют от водителей их досконального вызубривания. В качестве примера можно привести боковую секцию (без красного колечка, еще не везде введенного), которая при погашенной стрелке означает запрет движения, но только в том случае, если в центральной секции есть контурная стрелка.

Еще одним аналогичным примером является вид некоторых светофоров при выезде на перекрестки с круговым движением. Казалось бы, здесь вполне достаточно одной правой боковой секции с ее разрешающим и запрещающим сигналами. Действительно, основная

трехсекционная часть светофора не несет в таком светофоре полезной информации, и ее стоило бы вообще исключить, однако в современных ПДД такого варианта светофора просто не может быть. Использование для этого случая варианта светофора на рис. 4з не сильно улучшает ситуацию. Аналогичные рассуждения по управлению движением на Т-образном перекрестке, представленные в [4], приводят нас к выводу, что наилучшим вариантом при инновационном подходе был бы светофор из двух боковых секций, превосходящий любые возможные вариации классического светофора.

Ряд инновационных вариантов решения подобных вопросов был приведен в [1–4], другие варианты представлены ниже.

Тем не менее на наших дорогах есть и весьма интересные примеры нововведений. Так, наиболее полно воспользоваться преимуществом применения светодиодов удалось в последней модификации реверсивного (магистрального) светофора, управляющего движением по полосам автодороги. В его единой секции удалось разместить четыре (!) различных указывающих сигнала трех цветов. На рис. 5 показаны варианты сигналов в этом светофоре (несколько, правда, доработанные для более полного соответствия принципам предлагаемой инновационной концепции). Его четыре сигнала — это разрешающая зеленая стрелка, красный запрещающий крест и желтые стрелки, предписывающие

необходимость перестроения в правый либо при необходимости в левый ряд (при авариях, ремонтных работах и пр.). Односекционный магистральный светофор весьма успешно функционирует на наших загородных и кольцевых автодорогах. Эта инновация хорошо прижилась не только потому, что горизонтальный размер светофора удалось существенно уменьшить по сравнению с его многосекционным аналогом, но и из-за того, что у этого типа светофоров не было предыдущей долгой истории эволюционного развития, в результате чего его «революционный» вид спокойно воспринимается водителями. Отдельно отметим, что венский вариант такого светофора не имеет желтой стрелки, указующей влево, поскольку он изначально предназначался для регулирования именно реверсивного движения.

Что же дальше?

*Чтобы управлять хорошо,
надо знать, кем и где управляешь.*

Хосе Марти. Наша Америка. 1891 [9]

*Инновации — это изменения,
которые невозможно разложить
на бесконечно малые шаги.*

Джозеф А. Шумпетер. 1939 [10]

Для прогнозирования дальнейшего развития всех видов светофоров следует присмотреться к яркому примеру магистрального светофора, поскольку применение светодиодов дает большие преимущества не только из-за их энергоэффективности и возможности высвечивания более понятных сигналов, но и позволяет создавать более компактные и менее дорогие конструкции за счет совмещения нескольких сигналов в одной секции. В предыдущих исследованиях автор вынужден был даже привлечь к рассмотрению этого непростого вопроса науку о знаках — семиотику, с помощью которой удалось во многом разобраться с принципами визуального воплощения сигналов для всех типов светофоров [3, 4].

На рис. 6 показан пример реализации автодорожного трехсекционного светофора, реализующего индикацию большего числа сигналов, чем у классического светофора из семи секций, изображенного на рис. 3. Каждая секция этого инновационного светофора выдает полную информацию исключительно об одном направлении движения (налево, прямо или направо).



Рис. 5. Фазы реверсивного (магистрального) односекционного светофора. Представлена инновационная версия с разворотом на 180° и удлинненными желтыми стрелками, преобразованная в соответствии с излагаемой концепцией

Наряду с очевидными сигналами разрешения (зеленая стрелка), запрета (красный крест) и промежуточным желтым, хорошо знакомым водителям по классическим светофорам, появился ряд оригинальных сигналов. Так, в правой секции белая зебра информирует о наличии совмещенной с пешеходами фазы. В левой боковой секции реализована дополнительная индикация в виде белой стрелки, показывающей, что при левом повороте необходимо пропускать авто по встречке. Для лучшей заметности белые светодиоды в боковых секциях следует волнообразно переключать сверху вниз. Следует отметить, что последними правками стандарта РФ ГОСТ Р 52289-2019 (п. 7.5.8.), введенными 1 апреля 2023 года, совмещение фазы левого поворота со встречкой было запрещено. Этому поспособствовало отсутствие какого либо допсигнала в классическом варианте светофора об опасности со стороны авто, движущихся в прямом встречном направлении. Инновационный подход позволяет заново взглянуть на безопасность при совершении поворотов в сравнении с вышеописанными американским, парижским и московским вариантами решения этой проблемы, а также с дополнительной новосибирской белой информационной секцией, представленной в [4] на рис. 11.

В центральной секции наряду с основными сигналами (зеленая стрелка или красный косой крест, как в фазе на рис. 6) отображается ТООВ в виде кольца с последовательно (сверху вниз) гаснущими светодиодами, цвет которых соответствует цвету основного сигнала.

Для иллюстрации возможностей инновационной концепции на рис. 7 приведен вариант реализации весьма специфического светофора с разрешением (в приведенной фазе) движения вперед

с необходимостью пропуска авто слева (движущихся по главной дороге). По числу отображаемых сигналов и удобству их восприятия он существенно превосходит светофор, изображенный на рис. 4г. При этом светодиоды белой стрелки, для ее лучшего понимания водителями, могут также волнообразно переключаться (но слева направо). В зависимости от схемы организации движения возможно и отображение варианта с указывающей налево белой стрелкой и даже варианта с попеременно переключающимися белыми стрелками. Такой вариант более наглядно показывает водителю, откуда

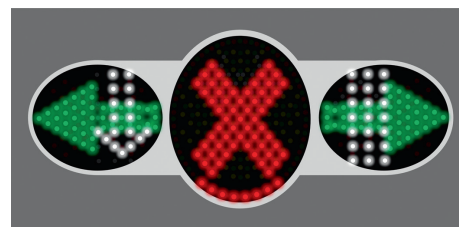


Рис. 6. Инновационный светофор для сложного перекрестка, фаза с запретом движения прямо, разрешением поворотов и индикацией совмещенного движения

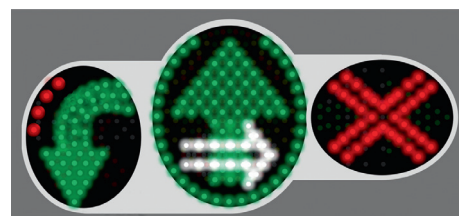


Рис. 7. Инновационный трехсекционный светофор; фаза с разрешением движения вперед (с белым сигналом предупреждения), разрешением разворота и запретом поворота направо

ему может грозить опасность. В левой боковой секции на рис. 7 дополнительно представлен возможный вариант сигнала, отображающего разрешение на разворот, но запрещающего поворот.

Подытоживая основные преимущества инновационного автодорожного светофора перед классическим, стоит разделить их на две категории. Первая категория — это свойства, направленные на улучшение восприятия сигналов водителями (со снижением их утомляемости), что, в свою очередь, способствует повышению безопасности движения, а именно:

1. Каждая секция светофора отвечает только за одно направление движения: вперед, налево или направо. В них отображаются все необходимые водителю указания по движению в избранном им направлении, включая сигналы разрешения/запрета движения (во всех секциях); желтый и желтый+красный промежуточные сигналы, белую информационную стрелку, указывающую необходимость пропуска авто, имеющих приоритет проезда по главной дороге, а также ТООВ (для центральной секции) и индикацию совмещенной с пешеходами фазы (такта) — для боковых секций.
2. Вытянутая (овальная) форма секции (в дополнении к ее расположению) указывает водителю на то направления движения, к которому она относится.
3. Единые для всех секций формы сигналов запрета движения в виде крестов красного цвета и разрешения движения в виде зеленой стрелки².
4. Более удобочитаемое «аналоговое» представление информации о времени, аналогичное песочным (или водяным) часам, без необходимости считывания и идентификации цифр семисегментного индикатора ТООВ. Это особенно важно в плохих условиях видимости (туман, снегопад, ливень, низкое слепящее

солнце), когда, не отвлекаясь от вождения, бывает сложно с первого взгляда различить цифры, отличающиеся лишь одним сегментом. Так, 1 легко спутать с 7; 3 — с 9; 5 — с 6 или с 9; 6 — с 5 или с 8; а 8 — с 0, с 6 или даже с 9. В тоже время отказ лишь одного сегмента — например, правого нижнего, приводит к дефектному и нечитабельному отображению большинства цифр.

5. Отсутствует погашенное состояние любой секции в любой фазе и даже в любом такте. Это достигается в том числе за счет замены мигания зеленого и желтого сигналов на мерцание с уменьшением в этом такте числа горящих светодиодов [4]. При этом кроме лучшего восприятия сигналов, водитель в случае гашения одной из секций светофора мгновенно получает явное свидетельство о его неисправности (отказе).
6. Переходный красный + желтый такт организован постепенным (три шага за 3 с) вытеснением красного креста сжимающим его желтым кругом [4], что более информативно в сравнении с совершенно не различимыми последними тремя секундами горения красного ТООВ в загоревшемся желтом сигнале классического варианта светофора³.
7. Белый динамически меняющийся сигнал, совмещенный с зеленой стрелкой в центральной или в боковой секции, акцентирует внимание водителя на том, что в выбранном им (и даже разрешаемом) направлении необходимо обратить внимание на мешающее ему «совмещенное» движение автомобилей и/или пешеходов, которым следует уступать. Гашение же белого сигнала свидетельствует о выдаче запрета на движения этой помехи. Таким образом обозначение разрешения «совмещенного» движения в инновационном автодорожном светофоре

будет закрепляться за белым сигналом, чем и предлагается ограничить его семиотический смысл. При этом белый трамвайный светофор ([3], рис. 8) не противоречит такому концептуальному подходу, в отличие от белой стрелки инновационного светофора на железнодорожном переезде ([3], рис. 4), которую, по всей видимости, придется заменить.

Довольно парадоксальной реализацией этих преимуществ может выглядеть обсуждаемый выше вариант светофора, управляющий выездом на перекресток с круговым движением. Вместо варианта на рис. 4з напрашивается в этом случае применение односекционного красно-желто-зеленого светофора, развернутого на 45–90° вправо (в единственно возможном направлении движения).

Вторая категория преимуществ — свойства инновационного светофора, упрощающие его изготовление и эксплуатацию:

1. Существенно меньшее число секций; в простом варианте — одна вместо трех, в сложном — три (как на рис. 6) вместо семи (как на рис. 3). Это делает светофор дешевле, ветроустойчивее, проще в установке, в обслуживании и т. п.
2. Не требуются две конструктивные модификации светофора, как в классическом варианте, где иногда приходится применять развернутый (горизонтальный) вариант для подвески его на тропе, причем в этом случае возникают вопросы с размещением боковых секций и правильным их восприятием.
3. Не требуется белый отражающий экран, введенный в свое время для улучшения восприятия боковой секции, погашенное состояние которой в классическом варианте светофора (до внедрения красных колечек) должно обозначать запрет движения.

Предлагаемая инновация потребует значительных сил и средств, вложение которых может быть оправдано только при весьма большом, практически глобальном охвате, что, по всей видимости, реально осуществить лишь одновременно с другими крупномасштабными мероприятиями.

Хочется надеяться, что когда-нибудь, не в таком уж далеком будущем, после открытия всех границ водителям не понадобится заново учиться и сдавать экзамены по ПДД при совершении поездок в новой стране, да и пешеходам при каждом пере-

² Такой подход кардинально отличает инновационный светофор от классического, в котором, например, красный сигнал запрета может иметь 4 (!) варианта формы (что и зафиксировано в ПДД), а именно: круг, кольцо (в боковой секции), крест (в магистральном светофоре) и даже красную стрелку. Разрешающий же сигнал, кроме обычного зеленого круга и уже привычных и достаточно хорошо различимых зеленых стрелок, часто получают наклеиванием на круглую зеленую секцию ленточек из черного непрозрачного скотча. Таким образом в центральной секции создаются контурные стрелочки аж для трех различных парных сочетаний (влево+прямо, вправо+прямо, влево+вправо) и как минимум двух одиночных направлений (прямо и направо), которые зачастую трудны для восприятия даже с небольшого расстояния (рис. 4). В тоже время инновационный подход (как и любой другой) имеет исключение из собственного правила в виде дуговой формы красного запрещающе-подсказывающего сигнала в левой секции на рис. 7, что более наглядно, чем вариант с красным крестом, представленный в [4] на рис. 24.

³ Для простейшего односекционного инновационного светофора, который должен разрешать/запрещать движение во всех направлениях (вперед, направо, налево и разворота), стоит рассмотреть форму зеленого сигнала в виде вертикального ромба. На первом этапе в [1] рассматривалась также возможность введения аналогичного перехода с зеленого сигнала на желтый путем постепенного его вытеснения, однако такой вариант был в дальнейшем отвергнут как избыточный и даже вводящий в заблуждение.

ходе дороги не надо будет задумываться о значении сигналов незнакомого им светофора.

Представляется, что предложенная концепция инновационной трансформации светофорного регулирования будет с одобрением воспринята водителями в большинстве стран мира, независимо от их места проживания, религии и даже культурных традиций. По большому счету излагаемая концепция смыкается с революционными идеями по преобразованию международных отношений из монополярных иерархичных (по сути, неокOLONиальных, имеющих в то же время весьма пестрое местное управление) в уважительные и равноправные. Предлагаемый подход во многом созвучен идеологии, лежащей в основе организации БРИКС, которая постепенно перенастраивает мировое большинство на переход от многодесятилетних попыток принудительного перекраивания миропопядка к инновационной реглобализации, но уже на совершенно новых условиях.

Вопросы управления светофорами

*Управляющая система...
должна превосходить управляемую
по мощности и по сложности.*

Закон

Винера — Шеннона — Эшби [11]

Светофор изначально был задуман как управляющий (движением на перекрестке) и управляемый (регулирующим-полицейским) объект. Разобравшись с вопросами восприятия водителями сигналов светофора, перейдем к рассмотрению не менее важного вопроса оптимизации внешнего управления светофорными сигналами. По традиции начнем с краткого исторического обзора.

В самом первом светофоре-семафоре регулировщик-констебль крутил рукоятку, передавая движение через приводной вал на расположенные на высоте 6 м машущие крылья семафора и вращающиеся вокруг газового фонаря кольца с зелеными и красными светофильтрами, что и указывало кучерам на разрешение или запрет движения их четырехколесных конных экипажей. Утечка и взрыв газа привели к забвению идеи светофорного регулирования, и движением по-прежнему пришлось управлять регулировщикам. До сих пор такой вариант используется

в качестве резервного, а кое-где даже основного. Для такого «рукопашного» регулирования пришлось изобрести специальный язык жестов с использованием полосатых бело-черных жезлов (в том числе светящихся) и дисков с красными световозвращающими кружками.

Аналогичное управление применялось и применяется военными регулировщиками (как на рис. 1). При этом чаще используются флажки со своим набором жестов, а в темное время суток — специальные фонари, которые в крайнем случае можно заменить факелами.

Как уже отмечалось, после начала тотальной автомобилизации управление изобретенными светофорами с лампами накаливания свелось к переключению питающих их электрических цепей. На рис. 8 показаны графики подачи напряжения на сигнальные лампы современного отечественного трехсекционного светофора, управляющего движением в одном направлении. Отметим, что для лучшего понимания динамики переключения водителями желтый промежуточный сигнал перед зеленой фазой был не так давно (по историческим меркам) заменен на желтый+красный, а зеленый сигнал за 3 с до погашения сделан мигающим. Для управления в поперечном направлении желтый сигнал чаще всего включается синхронно с сигналом прямого направления, а красный и зеленый сигналы — со сдвигом на 180° по фазе. При более сложной коммутации красные сигналы в перпендикулярных направлениях переключаются с перекрытием

(«крутом красным»), тогда желтые сигналы становятся несинхронными. Таким образом для управления сигналами одного простейшего «трехглазого» светофора двух направлений (с 12 сигнальными лампами) требуется до шести управляющих проводов.

Этот архаичный тип управления в целом сохранился до настоящего времени.

Возвращаясь к историческому анализу, отметим, что в критических условиях военного времени зачастую прибегали к весьма неординарным решениям. Так, после отключения стационарных светофоров в осажденном Ленинграде, работникам ОРУД-ГАИ пришлось заниматься регулированием движения в непростых условиях жесткой светомаскировки [12]. Действительно, водителю в темное время суток практически невозможно было увидеть регулировщика в свете фар, которые были оборудованы специальными светомаскировочными устройствами, обеспечивающими подсветку лишь нескольких метров пространства перед автомобилем. У орудовцев также были жесткие ограничения по применению световых приборов. Для решения этой проблемы в мастерских спецоборудования ГАИ был разработан и изготовлен специальный светофор с питанием от аккумуляторов (рис. 9). Он представлял собой небольшую коробочку со встроенной низковольтной лампой накаливания, снабженную двумя красными и двумя зелеными стеклышками. Установлена она была на поворотной стойке, стоящей на аккумуляторном

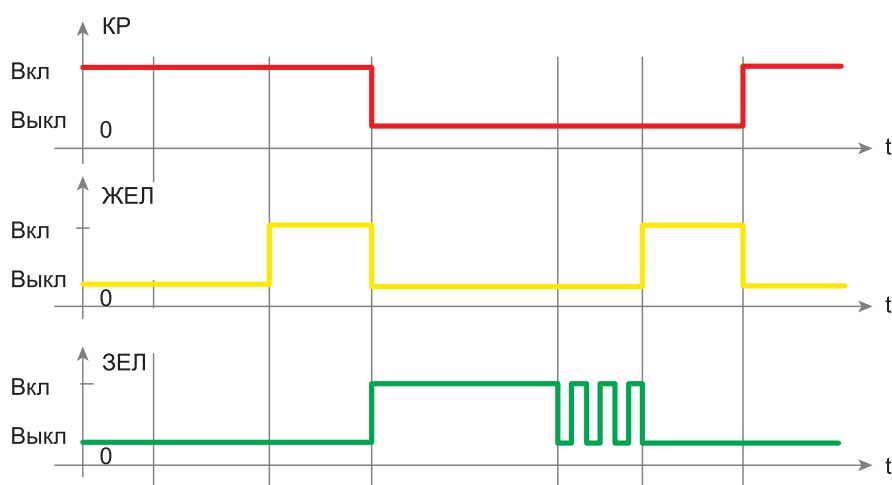


Рис. 8. Такты сигналов «классического» трехсекционного светофора, регулирующего движение в одном направлении



Рис. 9. Ленинградская регулировщица с блокадным светофором

ящике. Промежуточный желтый сигнал не требовался, поскольку скорость и количество транспорта в условиях блокады были незначительны. Управление движением осуществлялось (аналогично его заморскому прадедушке) вручную, поворотом стойки на 90° сначала в одну сторону, а затем в другую. Эти довольно тяжелые аккумуляторные «глазки», как их называли регулировщицы, которым приходилось периодически относить их на подзарядку, были изготовлены в количестве около 100 штук.

Первые усовершенствования в управлении автодорожными светофорами заключались в создании комфортных условий для регулировщиков. На перекрестках устанавливались специальные будки, защищающие от непогоды и создающие лучший обзор (как показано на рис. 2), куда и прокладывались провода, питающие лампы. Переключение сигналов осуществлялось тумблерами специального пульта. Достаточно быстро была осознана

необходимость замены сидящих в будках регулировщиков с пультами на автоматические программные механизмы с переключателями (первая попытка внедрения в 1922 году в Хьюстоне, штат Техас). Подобное решение, как ни странно, дожило до настоящего времени и используется в некоторых североамериканских мегаполисах [13]. Позже эти механизмы были заменены на электромеханические программируемые таймеры, а затем и на электронные. С середины 1970-х годов наступило время программируемых логических контроллеров (ПЛК) с силовыми электронными ключами, называемыми у нас симисторами (симметричными тиристорами), а в США — триаками. Эти контроллеры и стали называть дорожными (ДК).

В настоящее время ДК, претерпевшие ряд модернизаций, управляют на перекрестке несколькими синхронно работающими светофорами, составляющими СО. В зависимости от того, где принимается решение о переключении сигналов, ДК могут работать в следующих основных режимах:

1. Автономный (локальный) режим управления, когда ДК работает по заданному в него графику с возможностью его корректировки в соответствии со временем суток, дня недели и времени года.
2. Режим ручного управления, осуществляемый регулировщиком с помощью пульта, подключаемого к ДК.
3. Централизованное управление в рамках автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД) по командам оператора ситуационного центра организации дорожного движения (ЦОДД).
4. Адаптивный режим управления, при котором ДК на основании поступающих данных самостоятельно оценивает дорожную ситуацию и адаптируется к ней. Информацию о транспортном потоке ДК получает с помощью индукционных петель и/или других датчиков, располагаемых на перекрестке.
5. Координированное управление, известное водителям, как «зеленая волна». В этом режиме ДК, работая согласованно с соседними СО, обеспечивает безостановочный проезд нескольких перекрестков. Наиболее эффективно такое управление применяется на вылетных магистралях.

6. Нейросетевой режим управления [14]. По утверждению некоторых разработчиков эта, сравнительно недавно появившаяся концепция, базирующаяся на применении искусственного интеллекта (ИИ), может учитывать наличие аварий и других нестандартных ситуаций, использовать видеоаналитику по видам транспорта (легковые авто, фуры, общественный транспорт, мотоциклы, СИМ), а также принимать во внимание индивидуальное поведение водителей, пешеходов, велосипедистов и даже самокатчиков⁴.

После появления необходимости установки ТООВ в светофорах для их управления начали внедрять специализированные таймеры. Они достаточно уверенно работают в автономном режиме, отображая количество оставшихся секунд до погашения красного и зеленого сигналов даже при периодическом изменении длительности фаз. В некоторых современных светофорах это достигается применением светофорного контроллера (СК), управляемого от ДК по одному из проводных каналов управления [16], например по RS-485.

Отметим, что в ряде стран (например, в США) ТООВ в транспортных светофорах не применяется (в отличие от пешеходных). Это, скорее всего, вызвано сомнениями в их надежности, полезности и безопасности использования ТООВ, учитывая устойчивую привычку некоторых лихачей давить на педаль газа непосредственно перед переключением светофора с зеленого на желтый сигнал.

В отечественных СО информация об оставшихся секундах горения красного и зеленого сигналов доступна пока только в автономном режиме работы ДК. Поэтому при внешнем управлении ДК не было придумано ничего лучшего, как выводить на ТООВ информацию о типе этого управления, а именно «АУ» при адаптивном управлении, «ОУ» — при операторском (централизованном) и «РУ»

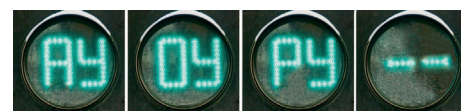


Рис. 10. Индикация возможных режимов управления дорожными контроллерами на ТООВ при зеленой фазе основного сигнала светофора

⁴ Возможность использования такого рода ИИ [15] при создании «умной» системы управления дорожным движением мегаполиса может оказать существенное влияние на улучшение важнейших ее показателей, включая увеличение пропускной способности магистралей, уменьшение числа пробок, улучшение безопасности движения. В будущем предстоит, по всей видимости, сочетать настоящие предложения по модернизации светофорного регулирования с использованием ИИ.

при ручном (рис. 10) с цветом, соответствующим горящему основному сигналу. Существует также довольно загадочная мигающая индикация: «--», то ли для координированного управления, то ли для любого внешнего управления, то ли для обозначения неисправности таймера или даже вообще его отсутствия. Такая индикация может быть в чем-то и полезна для обслуживающего СО персонала, но вот для участников движения она скорее вредна, так как малоинформативна и непонятна, поэтому зачастую вызывает недоумение.

В инновационных светофорах принципиально важно выдавать достоверную информацию об оставшихся хотя бы нескольких последних секундах горения основных сигналов во всех режимах управления ДК. Такая индикация признается весьма полезной отечественными законопослушными водителями, привыкшими к этому за годы использования ТООВ.

Она может быть реализована при формировании во внешней управляющей системе (устройстве) команды, предваряющей переключение основных сигналов на 5–6 с. До этого момента (до начала показа на ТООВ убывающих последних секунд) водителям может быть доведена информация о нахождении светофоров под внешним управлением, с помощью например, «перемигивания» (либо другого динамического переключения) левого и правого секторов кольцевого ТООВ, находящихся выше светодиодов, которые будут затем индцировать эти последние секунды. Точный вариант визуализации режима внешнего управления, понятный всем водителям, необходимо будет выработать комиссией компетентных экспертов. Это соображение, безусловно, относится и к другим аспектам инновационного регулирования. Отметим, что аналогичную индикацию о внешнем управлении полезно будет выводить также на ТООВ инновационных пешеходных и трамвайных светофоров, находящихся в составе того же СО.

В современных СО количество светофоров постоянно увеличивается и может достигать в отдельных случаях несколько десятков штук (например на перекрестках с круговым движением), соответствующее в таких СО увеличивается и количество прокладываемых (чаще всего под асфальтом) проводов управления. Дополнительные провода требуется тянуть к боковым секциям автомобильных светофоров, к пешеходным, трамвайным

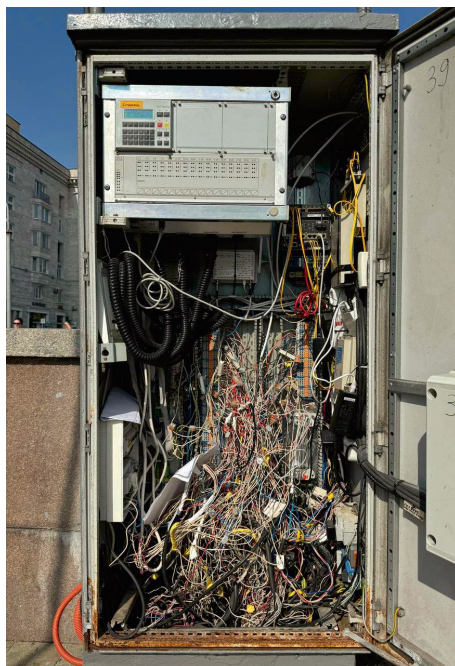


Рис. 11. Один из вариантов шкафа с современным отечественным дорожным контроллером

и другим светофорам, так что большую часть внутренностей громоздкого шкафа ДК зачастую занимают силовые ключи и коммутационные колодки с бесчисленным количеством подходящих к ним проводов, как на рис. 11.

Неоднократно звучали (например, в [16]) вполне логичные предложения по замене сложносочиненных, напичканных электроникой шкафов ДК с подведенным к ним многопроводными линиями управления на современные малогабаритные устройства с современными же линиями связи.

Авторские предложения по инновационным ДК будут представлены в следующей части настоящего, пока еще нескончаемого системно-семиотического исследования. Очевидно, что таким «умным» ДК суждено стать основой для «умных» перекрестков и даже определить во многом облик будущих «умных» городов. По мнению автора, такие ДК и будут рулить дорожным движением в передовых странах XXI века в мире, который будет отличаться от Pax Americana в гораздо большей степени, чем в свое время Pax Britannica отличался от Pax Romana [17]. ●

Литература

1. Зотин О. Об автодорожных светофорах будущего. Часть I // Полупроводниковая светотехника. 2019. № 2.

2. Зотин О. Об автодорожных светофорах будущего. Часть II // Полупроводниковая светотехника. 2023. № 1.
3. Зотин О. Об автодорожных светофорах будущего. Часть III // Полупроводниковая светотехника. 2023. № 4.
4. Зотин О. Об автодорожных светофорах будущего. Часть IV // Полупроводниковая светотехника. 2024. № 1–2.
5. ОДМ 218.6.003–2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. Росавтодор. М., 2013.
6. Конвенция о дорожных знаках и сигналах. www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/road_signs.pdf
7. www.en.wikipedia.org/wiki/Yellow_trap
8. Светофор на перекрестке // За рулем. 1961. № 3.
9. Martí J. Nuestra América. New York: Revista Ilustrada. 01.01.1891.
10. Schumpeter J. Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process, Vol. 2. New York: McGraw-Hill, 1939.
11. Ashby W.R. An introduction to Cybernetics. Chapman & Hall Ltd. London, 1956.
12. ОРУД-ГАИ в годы Великой Отечественной войны. www.78.xn--blaew.xn--plai/news/item/15613916/
13. Presentation for transportation engineering. Department of Civil Engineering Port City International University, Chittagong. www.speakerdeck.com/avijitsushil3/presentation-of-transportation-engineering-analysis-details?slide=52
14. Тимофеева О., Палицына С. Обучение нейронной сети интеллектуальной системы управления городскими светофорами. 2016. www.cyberleninka.ru/article/n/obuchenie-neyronnoy-seti-intellektualnoy-sistemy-upravleniya-gorodskimi-svetoforami/viewer
15. Лекун Ян. Как учится машина. Революция в области нейронных сетей и глубокого обучения. Альпина PRO, 2021.
16. Поляков А. С., Трескинский Д. В. Дорожные контроллеры — прошлое, настоящее, будущее // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14, № 1.
17. Половникова А., Калугина П. От Pax Britannica к Pax Americana: опыт либерального империализма Британской империи и США // Международный аспект. 2022. № 3.