

Ключевые слова: светодиодный светофор, безопасность движения, «умный» город

Олег Зотин | o_zotin@mail.ru

Об автодорожных светофорах будущего.

Часть вторая

Тимофею, Дмитрию и Артемию посвящается

...Кто берется за частные вопросы без предварительного решения общих, тот неминуемо будет на каждом шагу бессознательно для себя «натывать» на эти общие вопросы.

В. И. Ленин. Отношение к буржуазным партиям. 1907 г.

Четыре года назад увидела свет вполне законченная (как тогда казалось) работа о светодиодных светофорах [1]. Она получила положительные отзывы и даже стала лауреатом евразийской премии «Золотой фотон» [2]. Перед тем как благополучно кануть в Лету, предложенная в статье концепция построения светофора была успешно запатентована [3].

Для возвращения к исследованию светофорного регулирования и продолжения рассуждений на эту тему автору нужны были серьезные поводы, одним из которых стала непрекращающаяся активность инноваторов, продолжающих изощряться в этой области. Их понятное стремление максимально увеличить информативность светофорных объектов в ряде случаев перегружает внимание водителей, что может повысить аварийность на перекрестках. Авторский вариант возможного вида светофора будущего, демонстрирующий альтернативный подход к решению этой, постоянно усложняющейся задачи, представлен ниже.



Немного истории

*Очевидное редко бывает истинным.
Конфуций. Беседы и суждения.
Ок.480 г до н. э.*

История развития светофорного регулирования движения на дорогах насчитывает около 150 лет. При этом уже более 100 лет автомобильное движение подчиняется всем известным трем управляющим цветам светофора — красному, желтому и зеленому. За это время было предложено множество разнообразных модернизаций, касающихся как видоизменения основных, так и введения дополнительных сигналов. История появления значимых инноваций в трех основных секциях светофора (как формообразования, так и динамики переключения) была рассмотрена в [1]. Там же изложена концепция, позволяющая совместить все три основных сигнала светофора в одной секции. В качестве следующего шага, который должен приблизить нас к постижению истины, предлагается расширить область исследования до светофорного объекта в целом, включив в нее наряду с основными боковые и дополнительные секции.

Первые боковые секции у светофоров появились на наших дорогах около 50 лет назад. Они предназначались для разгрузки перекрестков, разрешая поворот транспортных средств, в том числе и при горящем красном основном сигнале. В простейшем виде этот сигнал представляет собой зеленую стрелку, разрешающую поворот. Когда же стрелка не включена, это означает запрет движения. Такая индикация сразу же показалась неудобной, поскольку при погашенной стрелке водителям непонятно, работает ли сигнал вообще, причем в плохих погодных условиях такую «погашенную» боковую

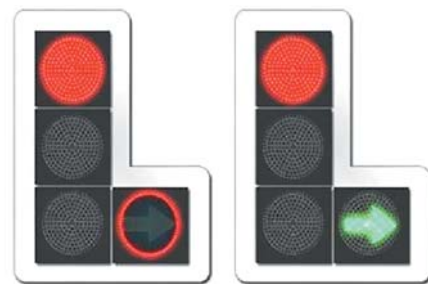


Рис. 1. Две фазы светофора с боковой секцией

секцию вообще можно и не заметить. В результате спустя некоторое время пришлось в качестве сигнала запрета ввести красную окружность (рис. 1), что оказалось весьма неплохим примером правильного системного подхода. Это решение было закреплено Постановлением Правительства № 315 от 02.04.2015г.

Примеры современных светофорных инноваций

На самом деле жизнь проста, но мы настойчиво ее усложняем.

Конфуций. Беседы и суждения.

Ок. 480 г до н. э.

Эволюция боковых секций не остановилась на введении красной окружности. Совсем недавно их начали оснащать и таймерами обратного отсчета (ТОО), которые в отличие от цифровых таймеров для основных секций стали сразу выполнять в графическом виде, аналогично кольцевому ТОО (для основной секции), описанному в [1]. Прототипом такого ТОО послужило предложение сербского дизайнера Дамьяна Станковича, сделанное им еще 14 лет назад [4], касавшееся, правда, только ТОО для основного красного сигнала.

Рассмотрим пилотный проект светофора с графическими ТОО (рис. 2), недавно реализованный в одной из стран СНГ [5]. Необходимо отметить, что наличие в этом объекте цифрового ТОО (белого цвета!) с дублирующим его кольцевым ТОО вокруг основного зеленого сигнала выглядит весьма странно. А вот применение ТОО в боковой секции следует покритиковать за относительно малую полезность. Действительно, поскольку перед поворотом водитель должен все



Рис. 2. Светофор с таймерами в основной и боковой секции

равно притормозить, то, подъезжая к перекрестку на относительно небольшой скорости, он должен за несколько десятков метров бросить взгляд на зеленую стрелку и понять, будет ли она гореть еще 3–5 с, чтобы принять решение об остановке или продолжении движения. Информация же о большем времени горения стрелки не должна его сильно интересовать. Стоит также обратить внимание на то, что в центральной (желтой) секции этого светофора располагается еще одно кольцевое ТОО, наличие которого можно объяснить разве что стремлением разработчика полностью унифицировать геометрию секций.

В ряде пилотных и постпилотных проектов стали появляться и другие дополнительные секции, несущие различную вспомогательную информацию. Например, для информирования водителей, поворачивающих на перекрестке направо/налево совсем недавно появились дополнительные секции с бело-лунными человечками и Г-образными стрелочками (рис. 3).

Эти секции должны сообщать водителям о том, что для пешеходов горит зеленый и при повороте требуется дополнительная бдительность (хотя по правилам



Рис. 3. Светофор с дополнительными белыми секциями

пешеходов положено пропускать всегда). В действительности же дополнительные сигналы в виде «белых светофоров» могут перенасытить информационное поле и отвлечь своим миганием водителей именно в тот момент, когда следует сосредоточиться собственно на совершаемом повороте, не теряя из виду пешеходов, которые на законных основаниях переходят дорогу. Таким образом это нововведение в определенных условиях может принести даже больше вреда, чем пользы. Отдельно следует отметить, что в оценке пилотных проектов подобного рода можно доверять лишь статистической оценке, включающей количество и тяжесть ДТП до и после их внедрения, однако на независимость таких оценок по большому счету рассчитывать не приходится.

В качестве следующего примера характерной модернизации приведем использование дополнительного знака со статичной зеленой стрелкой возле верхней красной секции (рис. 4). Авторы этого решения посчитали целесообразным размещать его на мало загруженных перекрестках, поскольку установка полноценного светофора с дополнительной секцией, по их мнению, была бы чрезмерно затратной. На таких перекрестках вполне допустимо разрешить правый поворот в постоянном режиме, однако восприятие данных знаков (а особенно их текстовой



Рис. 4. Светофор с дополнительным знаком

части) вызывает обоснованное сомнение, особенно в ночное время. Такой знак во многом является рудиментом эпохи борьбы североамериканского (текстового) и европейского (графического) подходов к проектированию дорожных знаков, которая активно велась около 100 лет назад при создании первых международных правил дорожного движения (ПДД). Известно, что в Крыму в 2017 году такие дополнительные знаки было решено демонтировать, заменив их всем понятной и лучше видимой боковой секцией светофора [6].

Еще один удивительный пример — дополнительная секция с красным крестиком (рис. 5), впервые опробованная в Париже. Она была задумана для информирования водителей о том, что для встречного транспорта горит красный свет и можно относительно безопасно поворачивать налево. Характерно, что этот красный крестик в разных пилотных проектах светофоров размещают в различных местах: и слева от красного сигнала, и справа от зеленого, и даже с тыльной стороны светофора встречной полосы. Подача такой в общем-то полезной информации в виде красного сигнала, по мнению автора, может вызвать недоумение у водителя, обоснованно считающего, что любой красный свет во всех случаях означает для него запрет движения. В тумане, к примеру, достаточно легко спутать этот красный крестик с горящим красным основным сигналом.

Перенасыщенность сигналами, а иногда и неясность в подаче светофорной информации может привести к тому, что ряд



Рис. 5. Светофор с дополнительной секцией в виде красного креста

водителей будет искаженно воспринимать не только сигналы, но и дорожную обстановку. В связи с этим представляется, что инновационная активность разработчиков светофоров должна быть направлена в первую очередь на упрощение подачи полезной информации, которая бы легко воспринималась водителями практически на интуитивном уровне, что позволило бы им сократить количество ошибочных действий. Эти соображения, скорее всего, и подвигли ряд дизайнерских фирм обратиться к отображению всей светофорной информации на одном экране из органических светодиодов. Такой дисплей имеет большие возможности по отображению любой графической информации вплоть до превращения светофорного объекта в интерактивный дорожный знак. Казалось бы, этот, довольно изящный, подход сулит удачное решение проблемы, однако следует признать, что для создания светофора он не годится хотя бы потому, что дисплеи на органических светодиодах не могут иметь необходимый (а именно узкий, почти прожекторный) тип светораспределения, что требуется по ГОСТ Р33385-2015. Получение такого типа светораспределения в современных светодиодных светофорах, как показано в [1], достигается установкой индивидуальных линз на каждом светодиоде либо формированием таких линз на защитном стекле.

Интересное решение было предложено холдингом «Швабе». Для улучшения видимости светофорных сигналов в плохих погодных условиях был предложен «умный» светофор, создающий разноцветными лазерами вполне видимую стену из ярких параллельных полос (располагаемых поперек дороги), которую водители смогли бы увидеть с расстояния до 200 м. Представляется, однако, что такое непростое решение может вполне оправданно проявить себя лишь на въезде с автострад в крупные агломерации, когда водителю необходимо оперативно переключиться на менее скоростной (городской) стиль вождения. Кроме того, вызывает большое сомнение видимость этой световой стены при ярком солнце. Нельзя преуменьшать и опасность возможного воздействия лазера на глаза водителя.

Принципы подачи графическо-цветовой светофорной информации, сформулированные в [1], базировались на том, что водитель, находясь на расстоянии принятия

решения (порядка 80–100 м), может различать детали знаков светофора размером 1 см. Рисование светодиодами знаковых сигналов неоднократно использовалось в светофоростроении, как в основных, так и в боковых секциях, а в реверсивном светофоре удалось даже совместить все три сигнала в одной секции [1]. Воспользуемся и мы этими возможностями и попытаемся показать, как улучшить восприятие знаков светофоров за счет более рационального применения сверхъярких светодиодов. При этом предлагается окончательно уйти от представления информации на ТОО в виде цифр аналогично тому, как в свое время удалось отказаться от текстовых дорожных знаков.

Предложения по революционной рационализации

*Удивились дети разом:
— Для чего ему три глаза?*

В. А. Михайлов. Светофор. 2002 г.

В свете описанных примеров становится понятно, что объективная тенденция по увеличению информированности водителей приводит (при стандартном подходе) к увеличению числа сигналов светофора, что может вызывать снижение концентрации в весьма ответственный момент — когда принимается решение о продолжении движения на перекрестке. Постепенно накопившаяся гора количественных изменений подталкивает нас к необходимости качественного изменения способа подачи информации водителю.

Действительно, обозначение каждым сигналом светофора некоего единичного сообщения приводит к необходимости сканирования водителем практически всего светофорного поля. Вместо этого предлагается **всю** информацию для водителя, следующего в избранном им направлении движения, выдать в одном комплексном сигнале. Тогда на перекрестке потребуется максимум три таких сигнала светофора, предназначенных для водителей, которые планируют ехать соответственно прямо, направо или налево.

На рис. 6 и 7 представлены варианты зеленой и красной фаз трехсекционного светофора с основной центральной секцией и меньшими боковыми секциями, позволяющими реализовать данную концепцию.

Водителю, собирающемуся ехать прямо, достаточно смотреть на центральный сигнал, в котором разрешение ехать отображено в виде зеленой стрелки (рис. 6) и показано остающееся время горения сигнала в виде кольца с постепенно гаснущими светодиодами (один светодиод за 0,5–1 с). Светодиоды постепенно гаснут начиная с верхнего светодиода, поочередно по левой и правой стороне, так что последний светодиод гаснет внизу посередине. В определенном смысле функционирование этого ТОО аналогично работе не стрелочных (как у Д. Станковича), а песочных часов. Такая реализация ТОО упрощает восприятие оставшегося отрезка времени без необходимости считывания цифр. При проезде через перекресток это позволит водителю довести свои действия до автоматизма.

Левая боковая зеленая стрелка, разрешающая движение, может быть пересечена белой мигающей стрелкой, информирующей, что для автомобилей, движущихся по встречной полосе, горит зеленый сигнал и их следует пропускать. При этом введение дополнительной индикации горения красного сигнала на встречной полосе (по примеру парижской инновации), как это показано на рис. 8, представляется излишним. Правая же боковая стрелка на рис. 6 может иметь дополнительную индикацию мигающих белых светодиодов, обозначающих, что для пешеходов справа также горит зеленый сигнал. Для лучшего восприятия мигание белых значков в левой и правой секциях делается в противофазе.

Запрещающий движение красный сигнал в каждой секции светофора (рис. 7) имеет форму косоугольного креста, что позволяет достаточно легко отличать его от зеленого сигнала в этой же секции людям, имеющим проблемы с различением цветов. ТОО же центрального красного сигнала работает аналогично ТОО зеленого сигнала.

Немаловажно и то, что конструкция инновационного светофора позволяет разместить его на тросовом подвесе без каких-либо изменений, в отличие от классического вертикального светофора, который приходится разворачивать на 90° против часовой стрелки, при этом зеленый сигнал оказывается справа, а красный — слева. Характерно, что в японских горизонтальных светофорах красный сигнал располагается справа, а слева можно увидеть и синий сигнал, до сих пор не везде замененный на признанный во всем мире зеленый. Отметим также, что положение боковых

секций в горизонтальном варианте «классического» светофора в разных странах вообще регламентируется по-разному.

Для одиночного инновационного светофора (без боковых секций) возможный вид зеленого сигнала в виде ромба (чтобы не сливаться с ТОО) показан

на рис. 9. На рис. 10 изображена желтая фаза для одиночного светофора или для центральной секции трехсекционного. Размещение желтых светодиодов в промежутках между красными и зелеными светодиодами и на свободном месте единой круглой секции позволяет отобразить

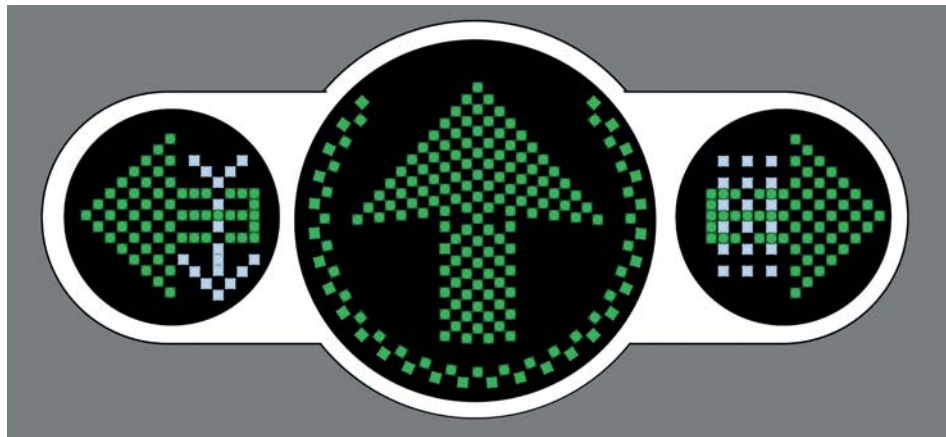


Рис. 6. Инновационный светофор с боковыми секциями, фаза «всем зеленый»

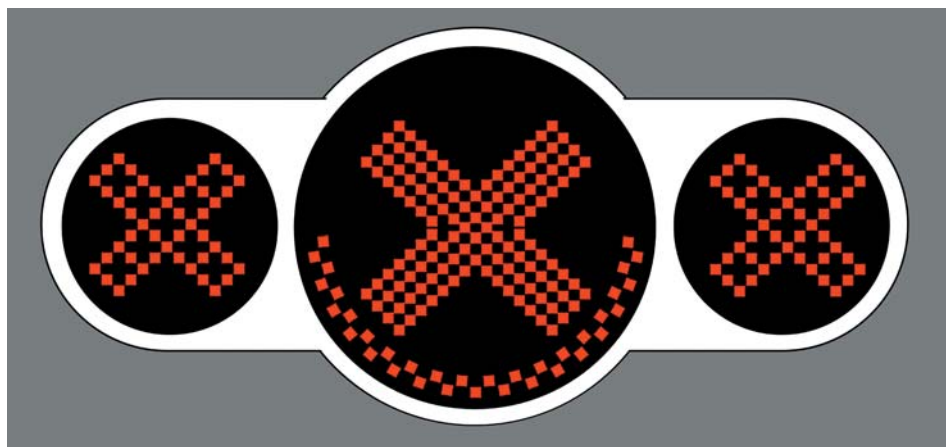


Рис. 7. Инновационный светофор с боковыми секциями, фаза «всем красный»

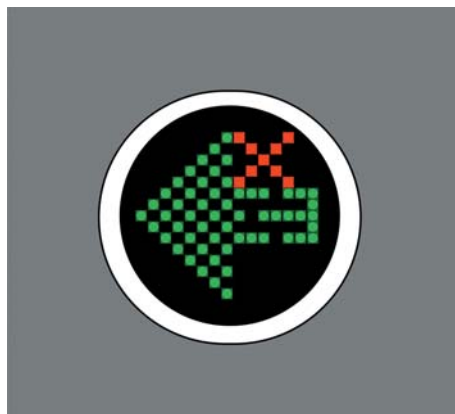


Рис. 8. Гипотетический вариант боковой стрелки с красным крестом

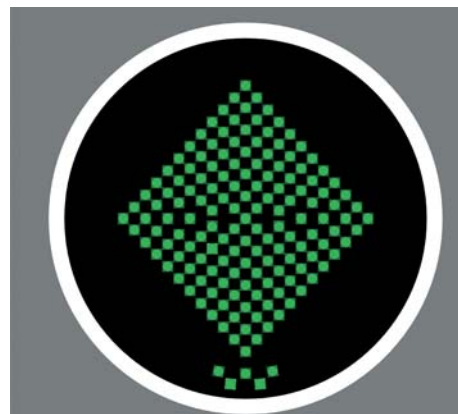


Рис. 9. Зеленая фаза одиночного инновационного светофора

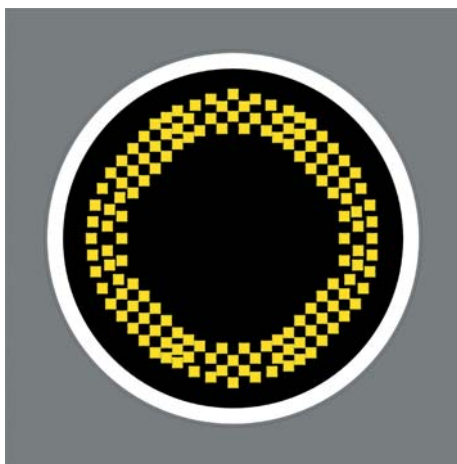


Рис. 10. Желтая фаза инновационного светофора

желтый сигнал в виде кольца, что будет понятно водителям, имеющим проблемы с цветовосприятием.

Расположение всех светодиодов в трех секциях инновационного «трехглазого» светофора показано на рис. 11.

О динамике

*А зеленый загорится,
Можешь дальше в путь пуститься.*
В. А. Михайлов. Светофор. 2002 г.

Само по себе наличие ТОО и предупреждающих мигающих белых сигналов во многом решает вопрос информирования водителя о динамике переключения сигналов. Однако не стоит полностью отказываться и от привычного всем мигания основного зеленого сигнала светофора, предупреждающего о его скором выключении. При этом применение

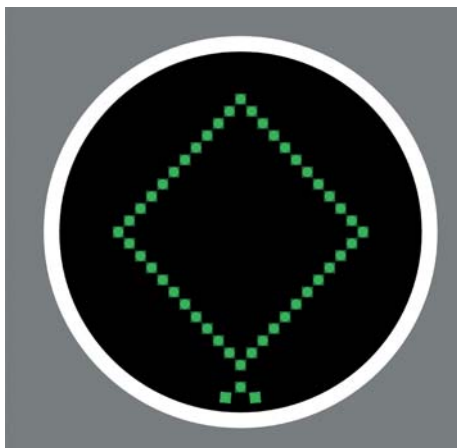


Рис. 12. Такт мерцания зеленого сигнала одиночного светофора

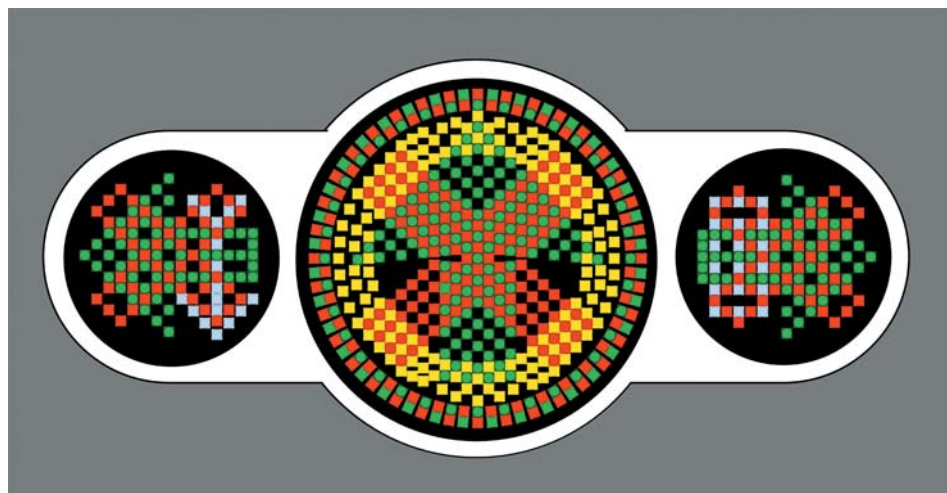


Рис. 11. Все светодиоды инновационного светофора

светодиодов позволяет ввести некоторое усовершенствование для более адекватного восприятия сигнала, трижды кратковременно погашаемого при мигании. В эти моменты лучше не гасить сигнал полностью, а, например, оставлять его светящийся контур. Вид таких, уже как бы мерцающих, а не мигающих тактов зеленой фазы показан на рис. 12, 13. Также можно ввести и троекратное мерцание боковой стрелки (рис. 14) — этого вполне достаточно для предупреждения водителя о появлении красного креста через пару-тройку секунд, тогда уже и ТОО в боковой секции не потребуется.

Вполне органично будет выглядеть и аналогичное мерцание желтого сигнала (с его неполным погашением) на нерегулируемом перекрестке.

Для улучшения синхронизации действий водителя с моментом включения зеленого сигнала (начало движения) целесообразно

но также ввести динамику в переходной красно-желтый сигнал. Возможный вид трех тактов этой фазы показан на рис. 15. Реализация же посекундного трансформирования желтого сигнала при обратном переходе от зеленого сигнала к красному, возможность которого была показана в [1], не представляется необходимой, поскольку в эту переходную фазу водителю уже не нужно готовиться к какому-либо действию, зато будет исключена путаница с красно-желтой фазой перехода от красного к зеленому. Действительно, водитель, предупрежденный работой ТОО и мерцанием зеленого сигнала, уже готов сразу после включения желтого сигнала предпринять все необходимые действия (в соответствии с ПДД) для остановки либо для завершения проезда перекрестка. При этом он и так знает, что красный сигнал включится через 3 с после желтого.

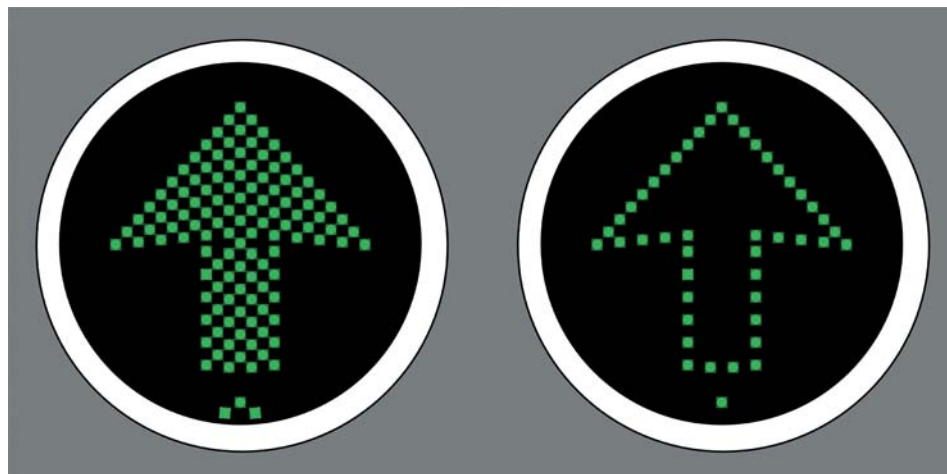


Рис. 13. Мерцание зеленой стрелки центрального сигнала инновационного светофора

Дополнительно отметим, что сигналы, состоящие из нескольких групп светодиодов, позволяют говорить об их повышенной отказоустойчивости при выходе из строя отдельных элементов управления.

Таким образом, при взгляде на светофор в любой его фазе водитель за долю секунды сможет легко понять, какие действия ему необходимо предпринять в следующее мгновение. Очевидно, что это должно привести к снижению утомляемости водителей.

Нужно также отметить, что инновации такого типа вполне логично будут смотреться в светофорах для обычных пешеходов, для велосипедистов и даже для караванов верблюдов (недавно такой установили в туристическом районе Поющие Пески в Китае). Их изображения здесь не приводятся, чтобы не затруднять восприятие итак довольно необычного материала.

Примечание 1. Внимательный читатель, конечно, обратит внимание на определенные изменения предлагаемых форм и динамики переключения основных сигналов по сравнению со статьей четырехлетней давности. На это справедливое замечание хочется ответить двумя старинными пословицами. Первая — все течет, все изменяется. Вторая — нет предела совершенству.

Примечание 2. Еще более внимательный читатель наверняка заметит, что на этом светофоре отсутствуют контурные стрелки, наклеиваемые в «классическом» варианте светофора на основной круглый сигнал для обозначения направления (направлений), на которые он распространяется. Действительно, инновационному светофору такие наклейки не нужны.

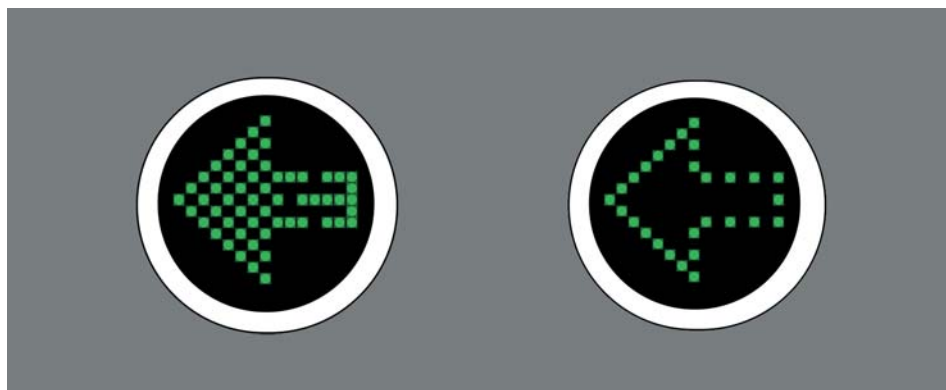


Рис. 14. Зеленая мерцающая боковая стрелка инновационного светофора

О системном подходе и «умном» городе

Знание — начало действия, а действие — завершение знания.

Ван Ян-мин. Записи преподающего и воспринятого. Ок. 1520 г.

Такой «интеллектуальный» светофор, управляемый встроенным контроллером (и, очевидно, являющийся частью светофорного объекта, который входит в систему управления дорожным движением), было бы рационально использовать в качестве интеллектуального хаба для выполнения ряда функций «умного» города, напрямую связанных с перекрестками. Для этого на опорах светофорных объектов и даже непосредственно в самом светофоре могут устанавливаться «умные» камеры видеонаблюдения и считыватели номеров авто, нарушающих правила движения; метеорологические датчики и датчики загазованности; регистраторы стрельбы

(модная тема для некоторых западных стран), датчики интенсивности дорожного движения и многое другое. Все эти устройства могут иметь единую систему электропитания и единую систему связи, принципы построения которых были изложены в [7]. К ним было бы рационально подключать и другие городские системы, в частности систему наружного освещения, систему экологического и погодного мониторинга, видеосистемы различного назначения, системы умной охраны объектов, объекты сотовой связи и т. п., но это уже тема для отдельной научно-исследовательской работы.

О процессе

Порой мы видим многое, но не замечаем главного.
Конфуций. Весна и Осень.
Ок. 480 г до н. э.

Анализируя ход настоящего исследования, приходится признать, что процесс

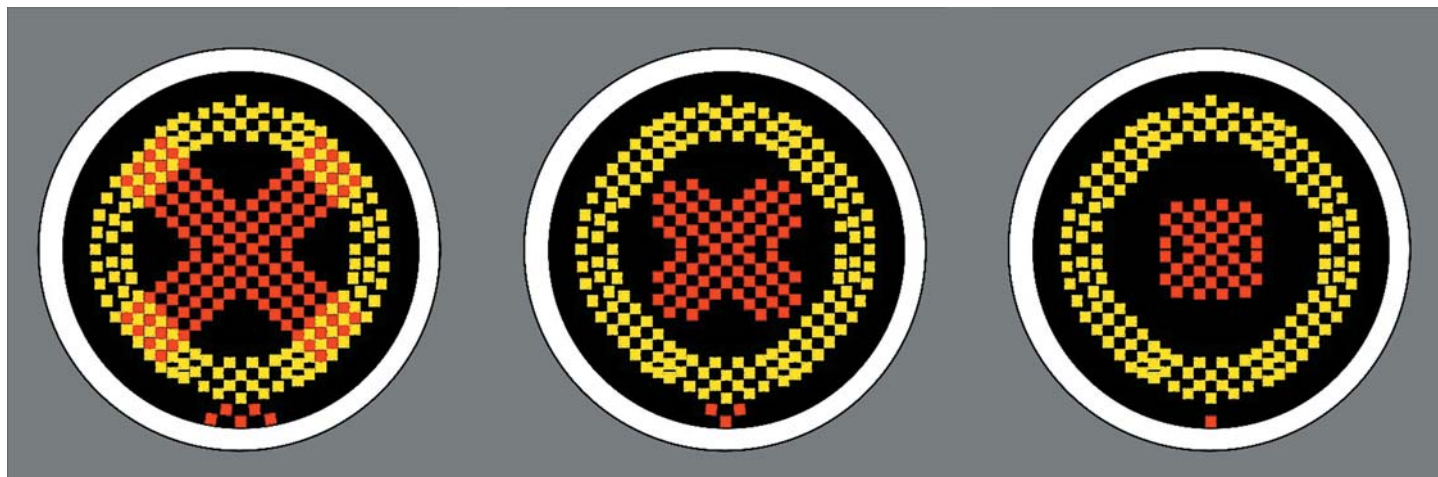


Рис. 15. Возможные такты работы красно-желтой фазы инновационного светофора

этот шел весьма длинным и извилистым путем от исторического анализа к формулировке концепции, учитывающей возможности технической реализации, затем к визуальному представлению и к восприятию водителем, а затем и к его действиям. Многократное прохождение этого пути в прямом и обратном направлениях привело к многократному же пересмотру первоначального представления о постановке задачи и вариантов ее решения с получением весьма неожиданного результата. Было бы чрезвычайно интересно подискутировать с исследователями, имевшими желание и возможность побродить по этой комплексной и в общем-то пока еще весьма поверхностно исследованной области.

Широкое внедрение подобных инноваций потребует полного пересмотра международных соглашений в данной области, что в современных условиях представляется почти невозможным. Отработку же такого решения следует проводить на компьютерном симуляторе с фокус-группой водителей, для оптимизации вида сигналов, их формы и динамики переключения в различных ситуациях, разных погодных и дорожных условиях. К примеру, цену

деления и диапазон ТОО вряд ли вообще возможно оптимизировать каким-либо иным способом. Вероятно, что наиболее предпочтительным вариантом будет даже переменная цена деления с 1 с на каждый светодиод в верхней полуокружности кольца ТОО и 0,5 с в нижней полуокружности. Вполне достоверные статистические результаты для оценки инновационного светофора можно будет получить после сравнительных испытаний различных подходов к построению светофорного регулирования с участием водителей, имеющих разный опыт, темперамент, остроту зрения и другие качества, необходимые в дорожных условиях, максимально приближенных к реальной дорожной сети конкретного мегаполиса (к примеру, Санкт-Петербурга или Москвы). Затем следует перейти к натурным экспериментам в агломерации, мало связанной с автодорогами основной территории страны. Нарботав на пилотных проектах бесценный опыт и положительную статистику, можно будет выходить и на международный уровень. Упомянутый компьютерный симулятор пригодится и для обучения водителей, для сдачи экзаменов по знанию ПДД, а также для отработки навыков безопасного вождения.

Заключение

*Будьте реалистами —
требуйте невозможного.
Эрнесто Че Гевара.
Партизанская война. 1960 г.*

Текущее эволюционное развитие инновационного процесса в области светофоростроения пока не позволяет надеяться

на революционный рывок в направлении, описанном в настоящей статье. Так что нам остается руководствоваться примером апостола Павла, который во втором своем послании Тимофею призывает наставлять противников с кротостью, с тем, чтобы на них снизошло покаяние к познанию истины, а истинное (перефразируя Конфуция) редко бывает очевидным. Если к такому позитивному настрою еще удастся добавить упорство заинтересованных соратников и мощный административный ресурс, то победа будет достигнута безусловно и в самое кратчайшее время.

Благодарности

Работа была бы невозможна без обмена мнениями и получения конструктивных замечаний от опытных водителей, поскольку у автора за плечами был лишь многолетний опыт штурмана внедорожника. С другой стороны, взгляд автора на рассматриваемую проблему под иным углом зрения способствовал более свободной генерации самобытных суждений и проработке нетривиальных гипотез. Также, как и при работе над первой частью настоящей статьи, немалая помощь автору была оказана кандидатом социологических наук А. М. Пивоваровым, во многом способствовавшим шлифовке концептуальных положений.

P. S.

Не успели еще высохнуть чернила последней строчки рукописи, как развернулась довольно оживленная дискуссия о правильности заложенных в концепции изобразительных средств и достаточности их выразительных способностей, особенно для некоторых специфических светофор-



Рис. 16. «Большевицкий» светофор

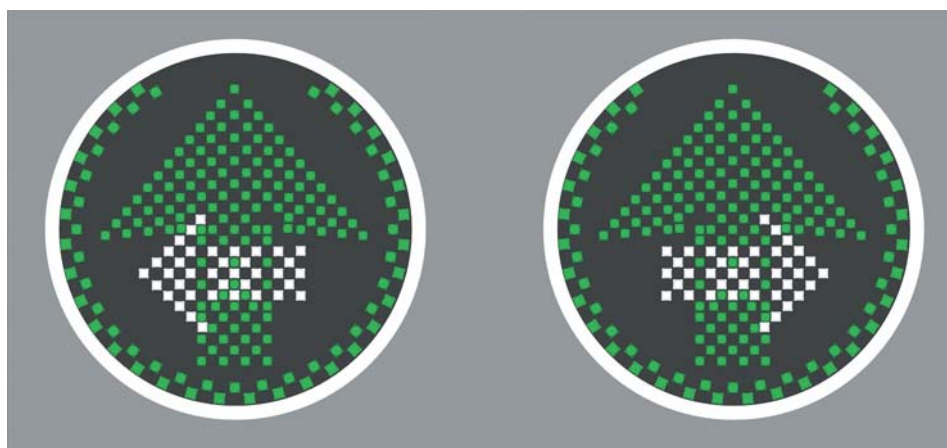


Рис. 17. Основной зеленый сигнал с переключающейся белой стрелкой

ных объектов, изредка встречающихся на наших перекрестках. Так, на знаковом (для родившихся в СССР) перекрестке улицы имени Павло Юхимовича Дибенко и проспекта Большевиков установлен весьма интересный светофорный объект, подкрепленный знаками конца главной дороги и пешеходного перехода для слабовидящих (рис. 16). Если подойти с формальных позиций, то двигаться прямо (по указанию боковой стрелки) при горящем красном основном сигнале (с двойной наклеенной стрелочкой), следует с осторожностью, уступая дорогу «большевикам» с главной дороги. Не будем вдаваться в дискуссию

о правильности такого директивного указания и его «читаемости»; в рамках же изложенной идеологии стоит предложить для такой фазы оригинальное исполнение центрального сигнала (рис.17) с переключающейся белой поперечной стрелкой. Отсутствующие на приведенном рисунке боковые секции в этой фазе имеют, естественно, красные кресты.

На этом пока и поставим точку. ●

Литература

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

2. www.smartcity-award.com/nominations?nomination=31&id=25&ysclid=lhus5r6h9e673133524
3. Транспортный светофор по патенту RU 195457 U1 17.10. 2019.
4. www.yankodesign.com/2009/11/30/a-better-understanding-of-stoplights/
5. www.uz.sputniknews.ru/20161217/tashkent-svetofory-taimer-4404046.html
6. www.nowcrimea.ru/articles/rss.php?ELEMENT_ID=2046
7. Зотин О. Системные вопросы построения «умной» охраны с «умным» освещением // Полупроводниковая светотехника. 2022. № 5, 6.