

УДК 656.056.4

Ключевые слова: инновационные светофоры, управление по сети электропитания, дорожный контроллер, интеллектуальная транспортная система

Олег Зотин | o_zotin@mail.ru

Светодиодные светофоры для будущего. Часть 7

К 110-летию «Последней футуристической выставки „0,10“»

Стремление к постижению истины предопределяет непрерывное движение от одного отрицания к другому¹.

Георг Гегель

В статье рассматривается возможность инновационной модернизации автодорожных светофоров на международном уровне. На базе анализа существующих в разных странах светофоров и предложений по их усовершенствованию выдвинут новый подход к светофоростроению. Представлены результаты разработки инновационной концепции и возможные стадии ее реализации. Ход предыдущих этапов настоящего семилетнего исследования изложен в работах [1–6].



Краткий исторический экскурс

Даже ничтожнейший прогресс требует долгих лет мучительного вызревания.
Эмиль Золя

История автодорожных светофоров, как известно, стартовала с весьма неудачной попытки автоматизации управления движением гужевого транспорта² возле здания английского парламента. Тогда, в 1868 году, злополучный аналог уже существовавшего железнодорожного светофора-семафора с газовым фонарем и машущими крыльями взорвался из-за утечки газа, ранив дорожного полицейского, вручную переключавшего его красно-зеленые светофильтры [1].

В дальнейшем в качестве источников света пытались использовать керосиновые лампы и лишь полвека спустя благодаря изобретению ламп накаливания, а также (и главным образом) изобретательности североамериканских полицейских (которым опостылело махать руками, регулируя дорожное движение в стремительно автомобилизирующихся США) появились трехцветные красно-желто-зеленые светофоры. Разнообразные модификации этих гаджетов до настоящего времени днем и ночью регулируют движение транспортных средств (ТС) на дорогах всего мира.

Стоит отметить, что автодорожное светофорное регулирование с самого начала шло своим оригинальным путем, ибо оно вводилось на пересечениях, которых нет на железных дорогах. Кроме того, относительно небольшой тормозной путь ТС уменьшает расстояние (и время) принятия решения. Именно это привело к необходимости ввода промежуточного желтого сигнала, отразилось на характеристиках всех сигналов, а в дальнейшем дало возможность предоставлять водителям дополнительную информацию за счет изменения их формы, чем изобретатели и стали наиболее активно пользоваться в последние десятилетия [1–5].

Первоначально североамериканские и европейские представления о светофорном регулировании и в целом о правилах дорожного движения (ПДД) во многом совпадали, за исключением,

¹ Произнесено (по легенде) в теологической дискуссии за завтраком с мессиром W.

² Вид упряжного грузового или пассажирского транспорта, приводимого в движение животными (чаще всего лошадьми).



Рис. 1. Такты современного светофора.
Два основных такта (зеленый и красный)
и два промежуточных

пожалуй, широкого распространения в США текстовых дорожных знаков. Поэтапное развитие этих представлений фиксировалось в Парижских конвенциях (1909 и 1926 гг.) [8], затем в Вашингтонской (1943 г.) и в Женевских конвенциях о дорожном движении (1931 и 1949 гг.) [9]. В 1968 году была выработана Венская конвенция [10], нашедшая признание во многих странах мира, однако США ее не подписали. За прошедшие десятилетия в конвенцию неоднократно вносили изменения; последние правки были внесены в 2025 году на Глобальном форуме по безопасности дорожного движения (WP.1) [11], проходившем под эгидой Европейской экономической комиссии ООН. Анонсирована повестка дня 94-й сессии Рабочей группы по вопросам освещения и световой сигнализации (WP.29/GRE), которая пройдет в Женевском Дворце Наций в конце апреля 2026 года [12]. Ее повестка дня, правда, будет касаться исключительно источников света на ТС.

Отечественное автодорожное светофоростроение стартовало на волне индустриализации и автомобилизации 1930-х годов внедрением первых трехсекционных светофоров в Ленинграде и Москве, что произошло лишь на несколько лет позже, чем в Западной Европе. Вплоть до 1960-х годов в СССР были попытки внедрения североамериканского подхода к светофорному регулированию [5], однако затем в 1968 году Венская конвенция была подписана, а в 1974-м ратифицирована.

Весьма характерно, что почти все остальные виды светофоров (пешеходные, трамвайные, велосипедные, реверсивные и прочие) удостоились гораздо меньшего внимания международных стандартизаторов. История их развития и возможная дальнейшая судьба были рассмотрены в [3, 4].



Рис. 2. Светофоры в штате Аризона (США) на Историческом шоссе 66 (U.S. Route 66)

В США в соответствии с требованиями федерального Закона о безопасности дорожного движения от 1966 года все штаты и территории приняли стандарты для знаков, сигналов и дорожной разметки, основываясь на Руководстве по единым устройствам управления дорожным движением от Министерства транспорта США.

Сообщество развития Юга Африки (Southern African Development Community) приняло в свое время собственную конвенцию о дорожном движении SADC-RTSM, которая во многом базируется на европейской традиции [13].

Все эти основополагающие документы неоднократно корректировали.

Характерно, что после логичного внедрения промежуточного красно-желтого сигнала на переходе от красного к зеленому (для его отличия от промежуточного желтого), трехсекционный светофор приобрел такую конфигурацию (и чередование фаз³), которая стала восприниматься как классическая (рис. 1)⁴ и на первый взгляд уже не нуждалась в каких-либо серьезных модернизациях. Однако необходимость повышения безопасности при поворотах ТС на перекрестках требовала упорядочить их движение, для чего пришлось вводить специальные разрешающие сигналы светофора с соответствующими тактами регулирования. Одно из первых воплощений этой идеи было реализовано



Рис. 3. Светофор в форме «собачей будки» в США

в США. Появились дополнительные секции светофора в нескольких вариантах, различавшихся в разных штатах. В одном

³ Фаза регулирования — совокупность основного и следующего за ним промежуточного такта (или промежуточных тактов). Такт регулирования — период действия определенной комбинации сигналов светофора [7].

⁴ При этом, согласно ГОСТ Р 52289-2019 (п. 7.5.2), хорошо прижившийся переходной красно-желтый сигнал вовсе не считается обязательным. Допускается непосредственный переход с красного сигнала на зеленый



Рис. 4. Современный, наиболее насыщенный вариант светофора, состоящего из семи секций. Показана индикация разрешения движения ТС вперед и направо с предупреждением о наличии пешеходов

варианте (рис. 2) трехсекционный светофор нарастили снизу еще двумя секциями; в другом (рис. 3) была введена оригинальная форма светофора, получившая прозвище «собачья будка». Дополнительные сигналы осуществляли управление левым поворотом, поскольку правый поворот при красном основном сигнале в США был практически повсеместно разрешен.

Европейское, а затем и отечественное светофоростроение пошло несколько иным путем: были введены боковые секции, регулирующие движение на поворотах. Вначале в них отображалась только разрешающая зеленая стрелка. Через несколько лет постановлением Правительства Российской Федерации от 2 апреля 2015 года № 315 впервые было введено высвечивание в секции второго сигнала — запрещающего красного колечка.

Еще одним серьезным нововведением в отечественных светофорах стало внедрение по примеру Франции таймеров обратного отсчета времени (ТООВ) для основных сигналов, начавшееся в 2005 году.

Семисегментные двухразрядные ТООВ после целого ряда модификаций получили двухцветное (красно-зеленое) исполнение и были размещены в центральной (желтой) секции [1]⁵.

Ползущая эволюция светофоров, весьма напоминающая эволюцию биологическую, продолжается и в настоящее время, что подробно рассмотрено в [1–6]. Одной из последних отечественных модернизаций стала не самая бесспорная установка белых (бело-лунных) мигающих информационных секций (Постановление Правительства Российской Федерации от 6 октября 2022 года № 1769), указывающих водителю на необходимость пропуска пешеходов при поворотах. В итоге в наиболее полном воплощении отечественный светофор может иметь теперь до семи секций⁶ (рис. 4). Для многих водителей такой светофор уже не является удобным для восприятия.

Есть явные предпосылки того, что и дальнейшая эволюция светофоров в ряде стран мира продолжится тем же путем — внедрением (испытанным методом проб и ошибок) небольших усовершенствований для решения отдельных частных вопросов, что зачастую ведет к усложнению светофорной сигнализации, но не вносит существенных качественных улучшений.

Рассмотрим некоторые из таких относительно недавних предложений, целью которых было объявлено повышение безопасности, в том числе и при совершении левых поворотов.

Некоторые попытки модернизации светофоров

Развитие системы предусматривает увеличение количества составляющих единиц и повышение организации. Эти две тенденции находятся в противоречии, так как увеличение количества единиц затрудняет организацию.

Юрий Кнорозов [14]

Несмотря на внедрение дополнительных секций светофоров, внесших определенную упорядоченность при совершении поворотов, такие маневры остаются одними из наиболее опасных ввиду возможности столкновения с ТС, движущимися во встречном направлении, которым при совмещенном движении может также гореть зеленый.

Для минимизации количества дорожно-транспортных происшествий такого рода еще в 1960-х в США был предложен «мичиганский разворот» (так как впервые был внедрен в штате Мичиган), называемый также отнесенным левым поворотом [15]. Обычно он применяется при пересечении магистралей с широкой разделительной полосой (рис. 5). Такая организация движения позволяет избежать пересечения противоположных потоков трафика непосредственно на перекрестке и увеличивает время зеленого сигнала для сквозного движения. В Москве и в Санкт-Петербурге есть несколько перекрестков с такой организацией движения. Реализация этого разворота требует выделения полосы, по которой необходимо проехать дополнительное расстояние, останавливаясь на нем до трех раз со встраиванием в поток ТС на последнем повороте.

Альтернативой этому варианту может послужить отмеченный выше ввод соответствующего такта регулирования с дополнительным информированием водителей о запрете/разрешении движения встречного транспорта, мешающего совершить безопасный левый поворот [15]. В настоящее время на дорогах разных стран прорабатываются варианты светофорной сигнализации для реализации такого регулирования.

В рамках этого направления оригинальное решение предложили парижские инноваторы, которые решили дать возможность водителям «подсмотреть» загорающий красный сигнал для встречных ТС [2]. Они ввели сигнал в виде красного креста, который первоначально располагался на тыльной стороне светофора встречного движения и воспринимался, вероятно, как крестообразная прорезь в его корпусе (рис. 6а). В следующих реализациях этот сигнал «переселили» на привычные

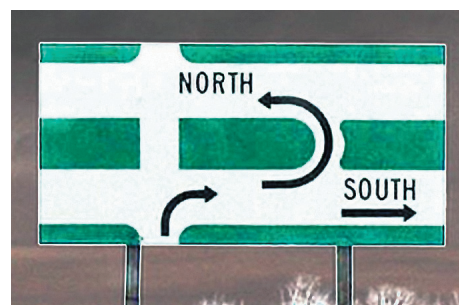


Рис. 5. Дорожный знак со схемой «мичиганского разворота»

⁵ В Зеленограде в 2025 году проводился эксперимент по отмене ТООВ, а заодно и тактов мигающего зеленого при одновременном увеличении промежуточных тактов со вводом подтакта «кругом красный», что в целом не противоречит ПДД и отвечает западному опыту. Результаты были получены неоднозначные и новшество не получило развития.

⁶ Согласно Приказу Росстандарта от 25 декабря 2024 года № 2000-ст, предусматривается вариант объединения двух белых информационных секций в одну, что несколько уменьшило чрезмерную яркость этих мигающих сигналов.

для водителей попутные светофоры. Однако его размещение не было стандартизовано, поэтому в разных странах их можно наблюдать и слева от красного сигнала (рис. 6б), и справа от зеленого (рис. 6в), и даже выше светофора (рис. 6г). При этом сам сигнал вряд ли можно назвать интуитивно понятным. Действительно, ведь обычному водителю не так уж просто сообразить, что этот красный крест означает запрет движения не ему, а встречным ТС.

Недавно в Москве был предложен вариант отображения такой информации в виде белого креста в погашенной в это время верхней (красной) секцией (рис. 6д) [16], что несколько выбивается из общей идеологии светофорной сигнализации. А вот в ряде городов Казахстана пошли другим путем: на нескольких уже внедренных светофорах с «парижскими» крестами их цвет сменили на зеленый и логично разместили их слева от светофора (рис. 6е) что, однако, практически эквивалентно давно применяемой стандартной зеленой стрелке в левой боковой секции.

Наиболее радикально проблема безопасности левых поворотов решается введением полноценных трех- и даже четырехфазных схем чередования сигналов светофора, которые полностью исключали бы конфликты с ТС, движущимися в прямом встречном направлении [7]. Это достигается вводом светофорных фаз, разрешающих только левые повороты с двух встречных направлений при запрещении движения прямо. Однако такая организация движения сокращает время других фаз светофора, увеличивает длительность светофорного цикла⁷ и приводит к дополнительным задержкам ТС.

Очередным отечественным нововведением в этой области стало применение совмещенных фаз движения только для перекрестков с весьма низкой интенсивностью движения ТС и пешеходов (Приказ Росстандарта от 25 декабря 2024 года № 2000-ст). В Санкт-Петербурге перенастройка режимов работы нескольких сотен светофоров в соответствии с этим указанием продолжалась в течение довольно продолжительного времени. Отзывы водителей и пешеходов были получены весьма противоречивые, по большей части негативные из-за увеличения времени ожидания и размеров пробок [17].

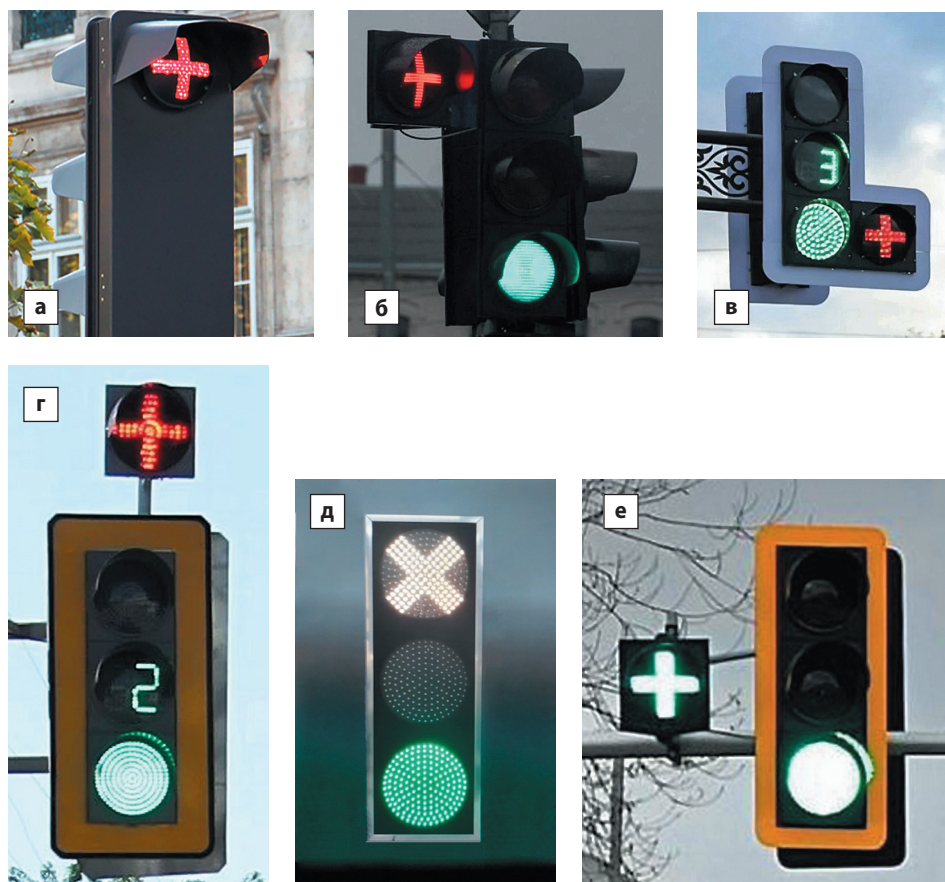


Рис. 6. Варианты светофоров с дополнительной секцией, информирующей о возможности совершения бесконфликтного левого поворота

В свое время более изощренным и комплексным путем попытались продвинуться новосибирские инноваторы, предложившие коренную модернизацию светофоров с сокращением количества секций и введением в каждой из них отображения нескольких сигналов. Действительно, предыдущий модернизационный опыт показывает, что при подходе такого рода в ряде случаев можно добиться улучшения воспринимаемости водителями указаний светофоров. Так, выше были приведены примеры установки двухцветного ТООВ в центральной (желтой) секции, а также индикации в боковых секциях как разрешающей зеленой стрелки, так и запрещающего красного кольца. Да и белый крест относится к аналогичным (возможно, не самым удачным) попыткам совмещения сигналов в одной секции.

Самым ярким и весьма позитивным примером в ряду модернизаций такого рода стал уже широко применяемый на наших загородных трассах реверсивный (магистральный) светофор. В последней его модификации в одну секцию удалось свести до четырех сигналов трех разных цветов [1,

5]: красный крест, запрещающий движение по полосе, желтые стрелки, указывающие направления съезда с полосы направо и налево, а также зеленая разрешающая стрелка. Это решение стало в какой-то степени предтечей авторской инновации.

Светофор же новосибирских инноваторов [18] состоит из четырех вертикально расположенных квадратных секций (рис. 7). В красной и зеленой секциях ото-



Рис. 7. Четыре такта четырехсекционного светофора новосибирских инноваторов

⁷ Цикл регулирования — периодически повторяющаяся совокупность всех фаз [7].

бражаются стрелками все запрещенные и разрешенные направления движения, причем затемненной стрелкой показана необходимость пропускать встречные ТС и/или пешеходов при левом повороте. Традиционный цифровой ТООВ в желтой секции сохраняется. На вновь введенной нижней информационной секции белыми сигналами пофазно (слева направо на рис. 7) отображается следующая информация:

- указание о необходимости пропуска пешеходов при поворотах;
- указание в виде белой стрелки, упирающейся в изображение стоп-линии, опосредованно говорящее о том, что можно бесконфликтно повернуть налево, поскольку встречным ТС горит красный сигнал;
- указание в виде двух белых стрелок о необходимости пропуска при левом повороте встречных ТС, поскольку им горит зеленый;
- напоминание (при горящем красном!), что дорогу переходят пешеходы.

Информацию, предоставленную водителям в этом варианте светофора, вряд ли можно назвать хорошо систематизированной, удобной для восприятия и интуитивно понятной. После опытного внедрения на нескольких перекрестках новосибирский пилотный проект был завершен как несоответствующий ПДД.

На взгляд автора, удовлетворительного варианта обеспечения безопасного левого поворота в мировой практике до сих пор не найдено, если, конечно, не считать

весьма затратного построения всей дорожной сети города с многоуровневыми транспортными и пешеходными развязками, как это сделано, например, в столице Бразилии. Возможна также переделка всех транспортных пересечений в перекрестки с круговым движением. Таким образом была преобразована дорожная сеть небольшого города Эйлат в Израиле, где удалось (при относительно небольшом трафике) вообще снять *все* светофоры [19], при этом приоритет при круговом движении предоставляется циркулирующим потокам ТС, а на пересечениях — пешеходам.

Решения такого рода требуют выделения довольно больших площадей в черте города, что в условиях плотной городской застройки (общепринятой для мастер-планов развития любых городов) может быть реализовано лишь в ограниченном количестве мест.

Если же мы замахиваемся на внедрение светофорных инноваций в мировом масштабе, то, кроме всего прочего, следует обратить внимание на манеру вождения в некоторых странах так называемого глобального юга. Там водители ТС зачастую вообще игнорируют сигналы светофоров, считая их скорее декоративными, нежели практическими и обязательными к исполнению. Они активно маневрируют на перекрестках, постоянно сигнализируют, и руководствуются больше не указаниями светофоров, а своими непосредственными представлениями о возможности вклиниться в освобождающееся перед ними



Рис. 8. Светофор с двойной боковой стрелкой

пространство. Такая ментальность находит отражение и в ПДД этих стран [20].

В качестве еще одного примера самодельного творчества на дорогах отечества приведем вариант светофора с двойной стрелкой в правой секции (рис. 8), который задуман его создателями для облегчения ориентировки водителей на сложном перекрестке, однако формально букве закона он не соответствует.



Рис. 9. Подборка вариантов светофоров разных стран, разных назначений и разных конфигураций

На дорогах разных стран мира от Турции и Руанды до Японии, Австралии и Канады встречаются зачастую такие конструкции светофоров (рис. 9) и такие порядки чередования фаз [21], которые вызывают недоумение и массу вопросов.

Для того чтобы избежать дальнейших инновационных шарашаний в части усовершенствования рассматриваемого многострадального девайса, необходимо прийти к единому пониманию роли светофоров во всей мировой дорожной сети и попробовать встать на путь переосмысления задачи светофорного регулирования, формирования на этой базе новых концептуальных воззрений с дальнейшим инновационным конструированием.

Следует отметить, что в недавно утвержденной Стратегии повышения безопасности дорожного движения в Российской Федерации [22] подчеркнута необходимость разработки инновационных технических средств организации дорожного движения и их внедрения после получения положительных результатов экспериментального применения, включая учет зарубежного опыта. Процедура такого применения инновационных средств прописана в п. 4.5 ГОСТ Р 52289-2019. Отдельным пунктом Стратегии отмечена целесообразность проактивной⁸ деятельности, обеспечивающей ее продвижение. Такой подход воспринимается как конкретизация в этой области государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы» [23], принятой за несколько лет до этого.

Основные положения новой концепции

Роль сознательно поставленной цели в совокупности действий, приводящих к созданию технологии, растет по мере прогресса знания.
Станислав Лем [24]

Многолетний опыт автора, участвовавшего в разработке систем управления сложными объектами народно-хозяйственного и специального назначения, позволяет ему взглянуть на эволюционное развитие светофоров глазами внешнего наблюдателя. Немалый опыт работы в качестве фото- и видеооператора дает возможность сконцентрироваться на сигналах светофора, а также на управлении ими. Такой подход негласно считается вспомогательной второстепенной задачей

в стратегическом направлении создания интеллектуальных транспортных систем (ИТС). При разработке ИТС большее внимание уделяется вопросам адаптивного (координированного) управления потоками ТС и пешеходов, а также управления высокоавтоматизированными беспилотными ТС (ВАТС) [25], в которых широко используется искусственный интеллект (ИИ). Приходится также учитывать, что обсуждение модернизации светофоров зачастую вызывает неприятие, ибо отечественные стандарты обязаны соответствовать подписанным международным соглашениям, а корректировка стандартов является весьма непростой задачей.

Главное предназначение светофоров — выдача внятных и хорошо различимых указаний на расстояниях 0–100 м водителям (субъектам довольно разноплановым, разнохарактерным и не всегда законопослушным), которые в свою очередь уже управляют ТС. Для грамотного построения светофоров требуется проанализировать, как водители распознают и воспринимают сигналы (что относится к предметам офтальмологии [1] и семиотики [3]), учесть их психологию и даже физиологию (в частности, время реакции [1]). Поэтому очень важно довести сигналы до вида, абсолютно понятного водителям любой национальности, культуры, вероисповедания и уровня подготовки. Дополнительные вопросы возникают также при внедрении на наших дорогах беспилотных ВАТС.

Если же присмотреться непосредственно к светофорам, то до недавнего времени они представляли собой весьма простые устройства из трех лампочек (с простейшей оптикой), переключаемых довольно громоздким дорожным контроллером (ДК). Теперь же светофоры начали постепенно превращаться в гаджеты, напичканные светодиодами и микросхемами, которые уже могут реализовывать довольно сложные алгоритмы работы (включая обратный отсчет времени основных сигналов) с попеременным отображением в одной секции сигналов разных цветов и необходимых форм. При этом ряд попыток модернизаций светофоров в разных странах выглядит пока довольно неубедительно.

Исходя из этих общих соображений (при весьма неопределенных представлениях о результате работы), и было начато построение концепции светофоров будущего.

Во главу угла было поставлено стремление преодолеть противоречия, метко подмеченные Ю. Кнорозовым, а именно путем создания (в нашем случае) более понятной светофорной сигнализации с упрощением и одновременным уменьшением числа ее элементов. Это приводило к неоднократным корректировкам и видоизменениям концепции, к прохождению стадий построения шаблонов и их разрыва, что отражено в [1–6]. В процессе разработки был получен патент на полезную модель [26]. Последняя доработанная редакция концепции содержит следующие пункты:

1. Каждая секция светофора отвечает исключительно за одно разрешенное направление движения на перекрестке (вперед, налево, направо). Все управляющие и информационные сигналы светофора сгруппированы по возможным направлениям движения на перекрестке и отображаются в этих специализированных секциях.
2. Каждая секция выполнена в форме эллипса, вытянутого в направлении регулируемого ей движения: центральная — вверх (вперед), боковые — влево и вправо.
3. Форма каждого основного и промежуточного сигнала в секции соответствует его функции. Красный сигнал — в виде креста, запрещающего движение, желтый — круг ожидания, зеленый — стрелка, разрешающая движение в направлении, регулируемом секцией (зеленый сигнал односекционного светофора имеет форму ромба при разрешении движения во всех возможных направлениях)⁹. Промежуточный красно-желтый сигнал (высвечиваемый в «классической» версии светофора одновременным горением двух секций) отображается в виде красного креста, наложенного на желтый круг.
4. Белые сигналы предназначены (аналогично «классическому» светофору на рис. 4 и «инновационному» на рис. 10) для указания на возможные конфликты на перекрестке и отображаются вместе с зелеными сигналами. Белая стрелка, информируя об опасности столкновения с ТС, показывает направление их воз-

⁸ Проактивность — целенаправленное стратегическое планирование, инициирование действий и событий с их творческой реализацией и взятие ответственности за результаты.

⁹ Первые примеры светофоров с сигналами разной формы появились в Корее и Канаде в последней четверти XX века [1].

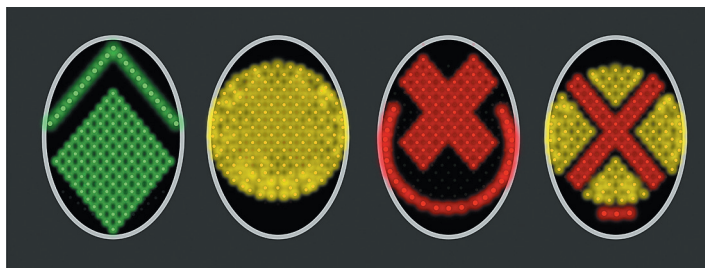


Рис. 10. Два основных (зеленый и красный) и два промежуточных сигнала (желтый и красный + желтый) инновационного односекционного светофора

можного конфликтующего движения, а белая зебра указывает на опасность наезда на пешехода.

5. ТООВ представляют собой цепочки светодиодов с их поэлементным гашением¹⁰. Цепь светодиодов красного ТООВ в виде дуги располагается в центральной секции под красным сигналом, а цепь светодиодов зеленого ТООВ — в виде стрелки над зеленым сигналом.
6. Для водителей, плохо различающих цвета (в дополнении к п. п. 3, 4, 5), сигналы в центральной секции смещены по высоте их расположения: светодиоды ТООВ располагаются между светодиодами противоположного основного сигнала¹¹.

Реализация концепции

Основные
и промежуточные сигналы

*Какой смысл говорить о будущем?
О будущем не говорят — его делают!*
А. и Б. Стругацкие

На рис. 10 показаны сигналы инновационного односекционного светофора, разработанные в соответствии с концепцией. Функционально они полностью замещают сигналы «классического» трехсекционного светофора без боковых

секций (рис. 1), включая непоказанный на рис. 1 цифровой ТООВ. Новые сигналы интуитивно понятны любому современному водителю, поскольку в них нет каких-либо особых нововведений, которые сходу не были бы ясны.

На рис. 11 представлен трехсекционный инновационный светофор для сложных перекрестков. Показан такт с разрешающими сигналами в центральной¹² и правой боковой секциях и запрещающим в левой секции¹³. Во всех своих тактах он гораздо понятнее водителю, чем современный семи-секционный светофор на рис. 4. При этом его функциональные возможности шире за счет модификации сигналов в секциях.

Вариант зеленого сигнала в левой секции изображен на рис. 12. Он дополнен белым сигналом (зеброй), говорящим о приоритете движения пешеходов, что понятнее и убедительнее дополнительной белой секции «классического» светофора на рис. 4. На рис. 13 представлен вариант зеленого сигнала в левой секции с поперечной белой стрелкой, информирующей водителей о необходимости пропустить при левом повороте встречные ТС, которым горит зеленый сигнал. Представляется, что такая индикация возможных конфликтов при левых поворотах¹⁴ более информативна, чем описанные выше новосибирский (рис. 7, второй и третий такты), московский (рис. 6д), а также ряд зарубежных вариантов (рис. 6а–г и 6е), и будет вполне понятна для всех водителей.

Для «бесконфликтных» поворотов возможен показ относительно меньших опасностей столкновения с помощью белых меток, располагающихся рядом с зеленой стрелкой. Однако это может восприниматься как визуальный шум, из-за чего такой вариант не рассматривается.

На рис. 14 показан вариант светофора с левой секцией, разрешающей разворот, но не поворот (например, на дорогу

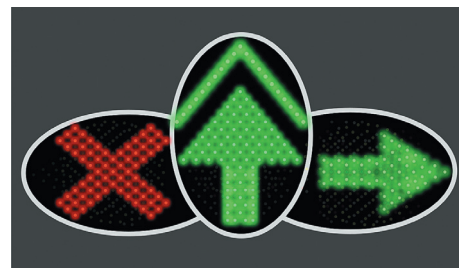


Рис. 11. Инновационный светофор с боковыми секциями

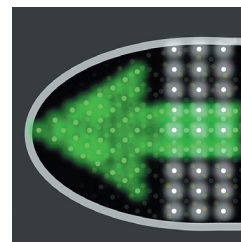


Рис. 12. Вариант левой секции

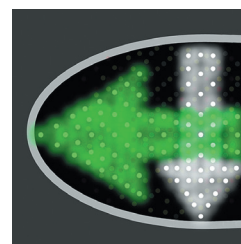


Рис. 13. Вариант левой секции

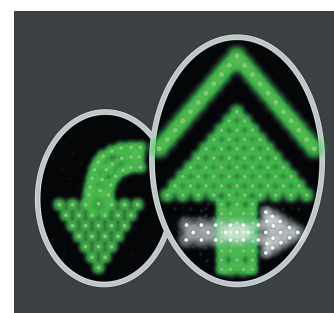


Рис. 14. Светофор с левой секцией, разрешающей только разворот

со встречным односторонним движением). Такая, ранее считавшаяся экспериментальной, боковая секция с недавних пор предусмотрена и для «классического» светофора (Т. 1.1.р, ГОСТ 33385-2015). Дополнительно высвечивается белая стрелка в центральной секции, которая указывает

¹⁰ Варианты реализации такого типа ТООВ впервые появились в США еще в 1925 году, а затем в Сербии уже в конце XX века [1].

¹¹ В предыдущей версии концепции [6] зеленый и красный ТООВ предполагалось разместить по всей окружности периферии секции, что требовало выделения для них дополнительного места.

¹² Зеленая вертикальная стрелка применяется также в одно-секционных светофорах при разрешении движения только вперед.

¹³ Эллипсы боковых секций частично перекрыты центральной секцией для их лучшего восприятия.

¹⁴ Все упомянутые белые сигналы могут способствовать расширению условий приведенного выше ограничения на совмещенное движение, поскольку дают более точную и понятную информацию о возможных конфликтах или их отсутствии.

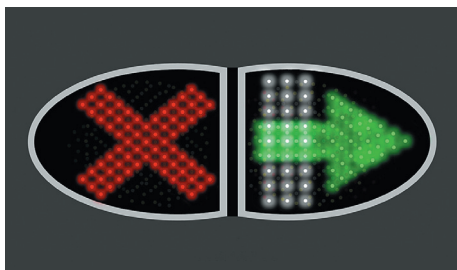


Рис. 15. Светофор для Т-образного перекрестка

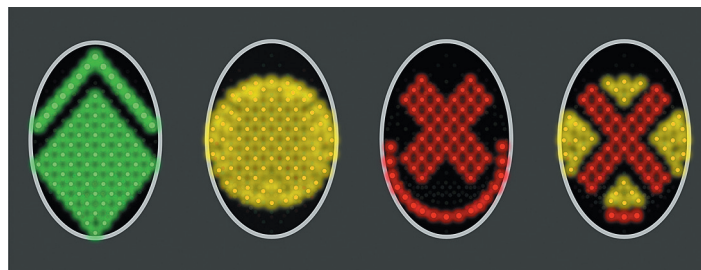


Рис. 16. Четыре сигнала инновационного односекционного светофора с апертурой 200х300 мм

на необходимость пропустить ТС, движущиеся слева направо по главной дороге. Аналогичная, но развернутая на 180° стрелка может показывать возможность появления и необходимость пропуска помехи справа. Такие белые стрелки могут отображаться (при необходимости) в центральной секции совместно с зеленой стрелкой в любом инновационном светофоре. В «классическом» светофоре подобное указание индицируется зеленой вертикальной стрелкой в правой боковой секции светофора (установленной специально для этой цели) при горящем красном сигнале в основной секции. При такой, не совсем очевидной индикации водителю приходится еще и догадываться о направлении, со стороны которого может грозить опасность.

На рис. 15 представлен вариант инновационного светофора для Т-образного перекрестка, который в соответствии с настоящей концепцией должен содержать две боковые секции, поскольку на таком пересечении требуется управлять только поворотами. При необходимости сохранить смысловую преемственность сигналов с современным семисекционным (!) светофором, устанавливаемым на таких пересечениях, в обе его секции необходимо внести промежуточные сигналы (желтый

и красно-желтый), что не представляет большой сложности.

Аналогичный инновационный светофор у выезда на перекресток с круговым движением (с соответствующим предваряющим дорожным знаком) может представлять собой одиночную боковую секцию, в которой также потребуются промежуточные сигналы. Он заменит традиционный трехсекционный светофор.

В ходе разработки принимались во внимание характеристики сверхъярких специализированных светодиодов четырех цветов (в количестве до 100 шт. для каждого из основных сигналов). Типовая сила света каждого светодиода может достигать 20–50 кд. Каждый из них оснащен линзой Ø 5 мм с необходимой направленностью излучения [1]. Для ТООВ используются светодиоды большего размера с линзой Ø 8 мм. Поперечный размер центральной секции 300 мм, боковой секции — 270 мм. В целом это соответствует габаритным и светотехническим характеристикам сигналов современных светофоров с апертурой секций Ø 300 мм. Согласно ГОСТ 33385-2015 и ГОСТ Р 32282-2004 (ред. 2019 г.), осевая сила света таких

автодорожных светофоров должна быть не менее 300 кд и не более 2500 кд.

Для замены существующего в ГОСТе (и в жизни) уменьшенного варианта светофора с выходной апертурой секций Ø 200 мм проработан вариант инновационного светофора с центральной секцией 200×300 мм (рис. 16) и уменьшенным количеством светодиодов (до 64 шт. на сигнал).

Динамика переключения сигналов и особенности ТООВ

Эволюция ... имеет свои периоды замирания и периоды внезапного движения вперед.
Петр Кропоткин [27]

Первый такт промежуточного красно-желтого сигнала показан на рис. 10 справа. Поскольку, согласно ГОСТу, этот сигнал длится 2 с, второй его такт может представлять собой дальнейшее затухание красного сигнала (рис. 17). Причем ТООВ в обоих тактах горения этого сигнала (в отличие от «классического» светофора) остается хорошо различимым.

Горение зеленого сигнала завершается тактами его мерцания (рис. 18, 19), а не ми-

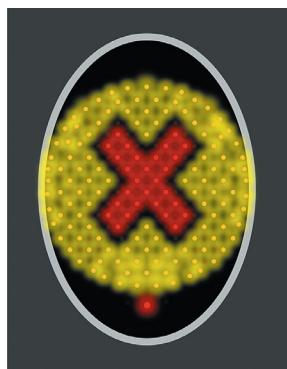


Рис. 17. Такт красно-желтого сигнала

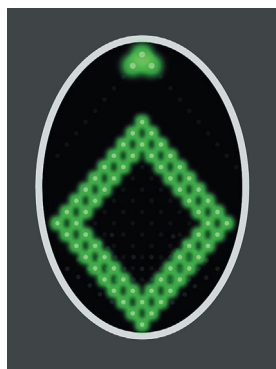


Рис. 18. Вариант мерцающего зеленого ромба



Рис. 19. Вариант мерцающей зеленой стрелки

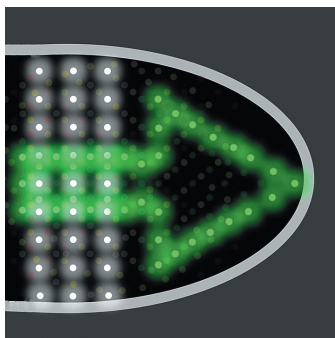


Рис. 20. Вариант правой секции

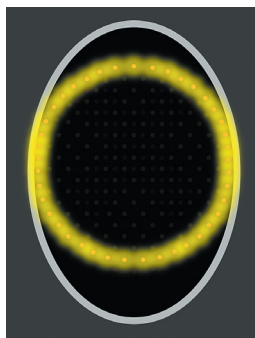


Рис. 21. Такт мерцания желтого сигнала

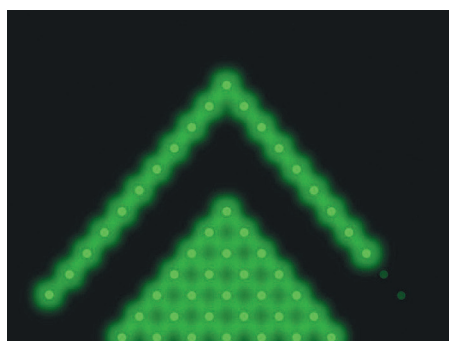
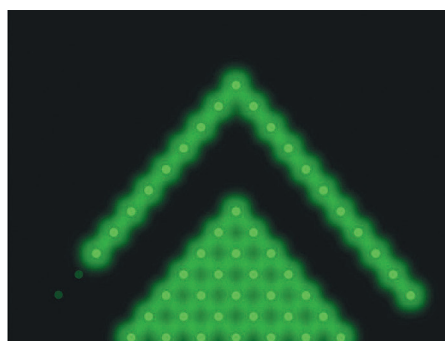


Рис. 22. Индикация превышения диапазона ТООВ переключением групп светодиодов



гания (как в современных светофорах). Аналогичный «мерцающий» такт зеленого сигнала в боковой секции (вместе с белой зеброй) показан на рис. 20.

Для лучшей заметности предупреждающих белых сигналов (как на рис. 20, так и на ряде предыдущих) их следует «волнообразно» переключать (по направлению движения конфликтующих ТС и пешеходов). Это правильнее, чем мигание (как в белых секциях «классического» светофора), поскольку выключение такого сигнала должно однозначно указывать водителю на устранение помехи для движения. А вот при возможном одновременном действии предупреж-

дающих белых сигналов (рис. 12 и 13) им необходимо «перемигиваться». Это же касается и возможного варианта с противоположно направленными белыми стрелками в центральной секции светофора на рис. 14.

На рис. 21 представлен вариант «мерцающего» такта желтого сигнала, что является более комфортным для водителей обозначением нерегулируемого перекрестка в сравнении с гаснущим при мигании желтым сигналом «классического» светофора.

Убывание времени ТООВ (согласно п. 5 концепции), заданное ДК, показывается гашением горящих красных светодиодов

сверху вниз, а зеленых — снизу вверх, поочередно с левой и с правой стороны светодиодных цепочек. Для увеличения заметности и расширения диапазона такой индикации гашение очередного светодиода ТООВ следует проводить через промежуточное «мигание». Для зеленого ТООВ (при 21 светодиоде) диапазон индикации может быть доведен до ≈ 42 с, а для красного — до ≈ 50 с (при 25 светодиодах).

Учитывая то, что диапазон индикации времени в таком ТООВ, как правило, существенно меньше полного времени основной фазы, его превышение (при обычном программном управлении от ДК) лучше всего показать достаточно быстрым (≈ 2 раза в секунду) «перемигиванием» групп из двух светодиодов с обеих сторон цепочки (рис. 22).

Отметим также, что ДК при адаптивном (или любом внешнем) режиме управления не обладает полной информацией об оставшемся времени горения основных сигналов. В семисегментном двухразрядном индикаторе ТООВ «классического» светофора в этом случае принято высвечивать буквы АУ (адаптивное управление), РУ или ОУ (ручное и операторское управление) или даже символ «--», что во всех этих случаях говорит лишь о непредсказуемости момента окончания горения текущего основного сигнала. Представляется целесообразным обеспечить на инновационном светофоре единую и более понятную индикацию для таких специфических режимов работы. Логичным и наглядным может выглядеть противофазное последовательное переключение светодиодов крайних секторов ТООВ из нескольких ($\approx$ восьми) светодиодов сначала в одном, затем в другом направлении. Его можно назвать «перекачиванием». Для зеленого ТООВ направление «перекачивания» показано голубыми стрелками на рис. 23.

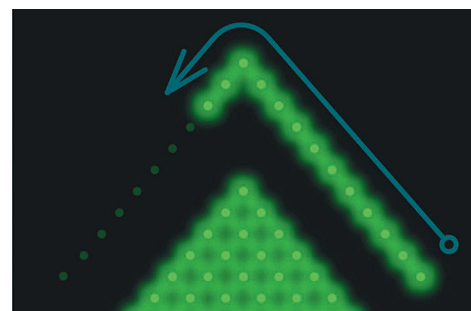
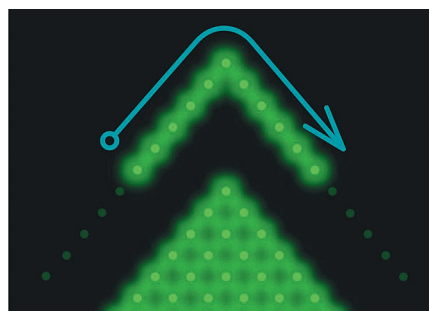
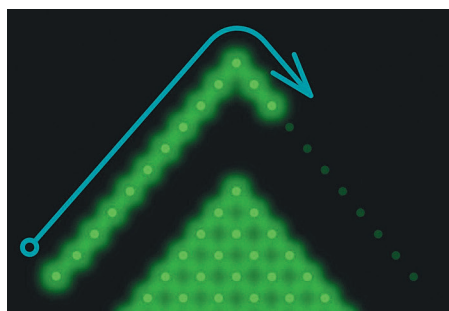


Рис. 23. Схема «перекачивания» светодиодов зеленого ТООВ, отображающая режим внешнего управления ДК

Красный ТООВ функционирует аналогично. При этом следует сохранить индикацию последних нескольких секунд работы ТООВ [6] с одновременным штатным завершением свечения (мерцанием) основных фаз (рис. 17 — для красной фазы, рис. 18 или 19 — для зеленой).

Восприятие такого ТООВ для водителя комфортнее в сравнении с «классическим» цифровым таймером за счет отчетливой динамики переключения цепочек светодиодов. Действительно, зачастую бывает непросто распознать ту или иную цифру или букву — особенно в условиях плохой видимости (туман, дождь, снег) или при возможных неисправностях элементов ТООВ.

Преимущества инновационных светофоров и особенности их управления

*Чтобы достичь совершенства,
надо прежде многого не понимать.*
Федор Достоевский

Важные отличительные черты инновационных светофоров:

1. Форма секций инновационного светофора и их количество непосредственно отображают допустимые направления движения на перекрестке¹⁵. Водитель, выбрав направление движения (и соответствующую секцию светофора), следует указаниям выбранной секции, не отвлекаясь на сигналы в других секциях. Количество секций инновационного светофора — от одной до трех, что существенно меньше, чем у традиционного светофора.
2. Каждый сигнал представлен индивидуальной и хорошо узнаваемой формой¹⁶. Исключение — вариант зеленого сигнала в виде ромба, который будет применяться для односекционных светофоров на мало загруженных перекрестках, где не требуется использование боковых секций.
3. Стрелка зеленого цвета, разрешающая движение, всегда совпадает по направлению с большой осью эллипса секции.
4. Такты мигания сигналов заменены на мерцание; таким образом, нет ни одного мгновения с любой полнотью погашенной секцией во всем светофорном цикле¹⁷.
5. В отличие от «классического» трехсекционного светофора, имеющего два варианта исполнения: вертикальный и горизонтальный (применяемый обычно при подвеске на трос или крепления за трубу, как на рис. 9), у инновационного светофора (в этом смысле) предусмотрен единственный вариант.
6. Предупреждающие белые сигналы, расположенные поперек зеленых стрелок, за счет «волнообразного» их переключения (или «перемигивания») отчетливо указывают водителю на возможную опасность и необходимость снижения скорости перед перекрестком.
7. Минимизировано количество форм сигналов, все они интуитивно понятны. Исключено применение ряда сложносочиненных сигналов и то, что принято называть визуальным шумом, включая желтые и красные стрелки, контурные стрелки, двойные (и тройные, как на рис. 7) стрелки, красные колечки, белые и зеленые крестики (как на рис. 6в–е), белые фигурки пешеходов (как на рис. 4 и 7), белые отражающие экраны.

Коммутация и управление яркостью светодиодов инновационного светофора представляет собой не самую простую, но вполне решаемую задачу. Очевидно, что сердцем электроники светофора должен стать программируемый контроллер, управляющий светодиодами. Регулировка яркости должна обеспечивать в дневное время хорошую видимость сигналов с расстояния до 100 м, а ночью — их комфортное считывание с близкого расстояния. Не менее важно учесть требования по управлению режимами и длительностями тактов работы светофоров, контролю их исправности, а также по перезагрузке программного обеспечения.

Вопросы инновационного управления светофорами от ДК рассмотрены в [6]. Предусмотрено управление непосредственно по сети их электропитания постоянным напряжением (единой для всего СО), без использования каких-либо дополнительных линий связи. Такое построение СО минимизирует количество проводов связи и электропитания, повышает надежность и радикально упрощает ДК. Крупногабаритный уличный шкаф ДК при таком подходе может быть заменен портативным прибором, размещаемым, например, в световой опоре [6].

В целом необходимо уделить серьезное внимание вопросам надежности, живучести и ремонтнопригодности, ибо нарушение в работе светофора может спровоцировать ДТП. Ремонт светофора должен проводиться его заменой (целиком или одной из секций) на дублера со склада, что минимизирует затраты времени и сил.

Возможный порядок внедрения

*Разумный человек приспосабливается к миру,
а неразумный приспособливает мир к себе.*
*Поэтому весь прогресс зависит
только от людей неразумных.*
Бернард Шоу [28]

Глобальная нацеленность концепции предполагает необходимость учета умений и привычек водителей всех стран, присоединяющихся к внедрению инновационной концепции. Поэтому проект следует продвигать планомерно, выверенными шагами, с периодическим притормаживанием для внесения необходимых корректировок с целью дальнейшего беспрепятственного распространения на все большее пространство.

Первым же должно стать пространство виртуальное. Для этого необходимо создать обучаемую и обучающую компьютерную модель дорожной городской сети с управляемыми инновационными светофорами. На ней обкатать в буквальном смысле все варианты светофоров. Для такой обкатки предстоит собрать фокус-группу водителей с разным опытом вождения, а также группу компетентных экспертов. Одной из важных задач первого этапа является выстраивание методики массового обучения водителей с целью их быстрой и качественной адаптации к сигналам новых светофоров.

¹⁵ Так, если инновационный светофор регулирует движение прямо и направо (как, например, светофор на рис. 11), то он должен иметь центральную и правую боковую секции.

¹⁶ В «классических» светофорах красный сигнал может иметь четыре (!) разные формы: круг, кольцо, стрелка (различных направлений) и тот же крест (на реверсивном светофоре).

¹⁷ Погасшая секция однозначно указывает на неисправность светофора.

Параллельно с этим следует приступать к непосредственному проектированию, а затем производству инновационных светофоров и управляющих ими ДК. Немаловажно также провести доработку аппаратуры и программного обеспечения центров управления дорожным движением.

Наиболее подходящим местом для внедрения первого «минималистского» пилотного проекта видится Кронштадт, который (при 45 тыс. жителей) еще сравнительно недавно считался заповедником бессветофорного движения и дисциплинированных водителей. После построения комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений и кольцевой автодороги (КАД) светофоры в Кронштадте появились; однако, например, на его центральном проспекте Ленина лишь три перекрестка из 14 оборудованы светофорами. Наличие единственного заезда с КАД в такую инновационную зону светофорного регулирования позволит легко обеспечить информирование водителей.

Отметим также, что согласно планам правительства Санкт-Петербурга, в течение трех лет Кронштадт должен обзавестись технологической долиной и площадкой особой экономической зоны.

На следующем этапе необходимо провести масштабное внедрение концепции в отечественной географически обособленной, но достаточно показательной зоне, имеющей большой потенциал опережающего развития. На взгляд автора, из предполагаемых вариантов как нельзя лучше подходит Калининградская область, которая, с одной стороны, имеет достаточно развитое производство электронных компонентов, включая светодиоды и сложную электронику, с другой — активно работающий Центр управления интеллектуальной транспортной системой, который уже несколько лет занимается внедрением умного управления светофорами, а с третьей — обладает определенной изолированностью, способствующей успешному внедрению инновации.

Такой проект будет носить уже весьма масштабный характер, поскольку Калининградская область с миллионным населением входит в пятерку лидеров среди субъектов Российской Федерации по количеству ТС на душу населения.

Для получения же международного опыта, так необходимого для полноты обеспечения работ согласно Стратегии повышения безопасности дорожного движения [22], предстоит задействовать профессионалов из дружественных стран с использованием возможностей, заложенных в свое время в БРИКС и ШОС.

Суммируя вышесказанное, констатируем, что инновационная концепция представляет собой более целостный подход к светофорному регулированию в сравнении с европейским, североамериканским, южноафриканским, австралийским, японским и рядом других вариантов и подвариантов, используемых на разных континентах. Появляются серьезные шансы взять ее за основу для разработки международного стандарта, обладающего возможностью всеобщего внедрения, превосходящую текущие возможности Венской, североамериканской и южноафриканской конвенции. Такая работа потребует приложения немалых усилий от представителей заинтересованных стран и международных организаций на всех этапах продвижения концепции с целью согласования единых правил работы светофоров в новой многополярной реальности.

Супрематическое заключение

*И кто знает, может, в будущем
истина Искусства беспредметного
вскроет предметную действительность
и покажет ее бутафорность, фиктивность
и мнимый вечный образ ее практического реализма.*
Казимир Малевич [29]



Рис. 24. Квадриптих Казимира Малевича

Автор не является поклонником апологета супрематизма и беспредметного искусства Казимира Малевича. Тем не менее, просматривая ретроспективу его работ, впервые показанных на «Последней футуристической выставке „0,10“», из которых позже был составлен известный черно-белый квадриптих (рис. 24), приходится признать, что каждая из этих картин (включая знаменитый «Черный квадрат») имеет аналог в виде одного из цветных сигналов инновационного светофора (рис. 10).

Это, вероятно, связано с тем, что в обоих случаях (но по разным причинам) пришлось обращаться к неким сущностным (по Гегелю) формам визуального восприятия окружающего пространства. Авторское видение этих базисных форм, ввиду специфики предмета исследования, отличается от воззрений Казимира Севериновича главным образом направлением взгляда, повернутым на 45°.

История развития автодорожных светофоров привела нас к тому, что в рамках устоявшейся красно-желто-зеленой модели становится все сложнее обеспечивать безопасность и безаварийность дорожного движения при постоянно увеличивающейся его интенсивности. Более того, вмешательство (даже из самых благих побуждений) в процесс разруливания потоков ТС на пересечениях может подчас приводить к непредсказуемым, весьма спорным и сложно выправляемым результатам. По всей видимости требуется серьезная корректировка воззрений на этот процесс, разработка взвешенных критериев и сбалансированных технологий управления, а также выработка продуманных организационных мер по их внедрению.

Пытаясь предвидеть по мере своих скромных возможностей вероятное светофорное будущее, автор не забывает поблагодарить тех, кто посчитал его опусы небезынтересными и, потратив на ознакомление с ними свое время, высказал весьма ценные для него соображения.

Ряд нововведений появился в результате отработки замечаний, данных экспертом рабочей группы при правительстве Российской Федерации по законодательству в сфере безопасности дорожного движения Дмитрием Поповым, а также опытным водителем и IT-специалистом Алексеем Сидоровым. Высокая оценка, данная на раннем этапе проекта дизайнером Артемием Лебедевым, утвердила автора в необходимости углубленного творческого подхода к внешнему виду сигнала

лов. Формулировка ряда положений концепции родилась в творческой дискуссии с кандидатом социологических наук Александром Пивоваровым.

Отдельная благодарность интернет каналу *dzen.ru*, опубликовавшему в 2020 году статью блогера и водителя с двадцатитрехлетним опытом [30], увидевшего перспективы в инновационной технологии светофоростроения, которая делала тогда еще свои первые робкие шаги.

Дальнейшая реализация светофорного проекта наверняка еще потребует внимательнейшего анализа профессионалов высокого международного уровня, а может быть, и вдумчивой ответственной корректировки.

Потребуется также интегральная и всеобъемлющая экономическая оценка проекта в целом, а также и его частей, аналогичная тем оценкам, которые продвинутые экономисты пытаются выработать в отношении прорывных технологий.

Завершая гепталогию «О светофорах будущего», автор надеется на пассионарных последователей, которые захотят и смогут принять участие в реализации предлагаемого проекта.

Заключительные замечания

1. Настоящий проект нацелен на создание инновационных светофоров, которые могли бы реализовать любые возможные варианты организации движения на пересечениях в любой стране мира для водителей с любым культурным кодом и любым опытом вождения.
2. При создании представленного опуса и проекта в целом ИИ задействовался исключительно для подборки цитат для эпиграфов.
3. Ряд примеров светофорных модернизаций взят из различных интернет-ресурсов, находящихся в открытом доступе.
4. В статье намеренно обойден вниманием вопрос перехода от левостороннего движения, принятого в двух бывших морских сверхдержавах и в ряде бывших колоний одной из них, на единое для всего остального мира правостороннее движение. Успешные примеры добровольных трансформаций такого рода достаточно хорошо известны [4]. Будущее внедрение инновационных светофоров с одновременным переходом на правую сторону движения может стать для ряда стран знаком окончательного избавления от печального колониального прошлого и символом присоединения к новой глобальной нормальности. ●

Завершено вечером 22 февраля в Прощенное воскресенье, когда на праздник Масленицы принято сжигать чучело — символ всего отжившего.

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. Зотин О. Об автодорожных светофорах будущего. Часть V // Полупроводниковая светотехника. 2025. № 1.
6. Зотин О. Об автодорожных светофорах будущего. Часть VI // Полупроводниковая светотехника. 2025. № 2.
7. Левашев А. Г., Михайлов А. Ю., Головных И. М. Проектирование регулируемых пересечений. Учеб. пос. Иркутск, Изд-во ИргТУ, 2007.
8. <https://www.web.archive.org/web/20170709150706/http://treaties.fco.gov.uk/docs/pdf/1930/TS0011.pdf>
9. https://www.translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.5b0c3c2a-699ae025-ae420a6a-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Geneva_Convention_on_Road_Traffic
10. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/Conv_road_traffic_RU.pdf
11. <https://www.unece.org/transport/events/wp1-global-forum-road-traffic-safety>
12. <https://www.unece.org/transport/documents/2026/02/agendas/annotated-provisional-agenda-ninety-fourth-session-working>
13. https://www.commonswiki.org/wiki/User:Fry1989/Gallery/Road_Signs/SADC
14. Кнорозов Ю. В. К вопросу о классификации сигнализации. Избранные труды. СПб., МАЭ РАН, 2018.
15. Жигадло А. П., Дорохин С. В., Лихачев Д. В. Новый подход к вводу дополнительной левоповоротной секции светофорного регулирования // Вестник СибАДИ. 2019. Т. 16, № 4.
16. <https://www.yandex.ru/video/preview/2649687035449518771>
17. Дыбин А. Никто не будет ждать две минуты. Водители и пешеходы в Петербурге стоят в пробках из-за нового режима перекрестков. <https://www.spb.kp.ru/daily/27756/5204244/?ysclid=mlaa2gpprr216338574>
18. <https://www.novo-sibirsk.ru/news/392075/>
19. <https://www.fotokto.ru/photo/view/6839427.html>
20. Highway safety code. Indian Roads Congress Special Publication 44. New Delhi, 1996.
21. https://www.en.wikipedia.org/wiki/Variations_in_traffic_light_operation
22. Указ Президента Российской Федерации от 14 ноября 2025 г. № 841 «Об утверждении Стратегии повышения безопасности дорожного движения в Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».
23. Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Развитие транспортной системы”» от 20 декабря 2017 г. № 1596 (в ред. ряда постановлений 2018–2025 гг.)
24. Lem S. Summa Technologiae. Kraków: Wydawnictwo Literackie, 1964.
25. https://www.vk.com/video-168813977_456239255?ysclid=mm9c2n584245167201
26. Патент RU 195457 U1. Транспортный светофор. Зотин О. Т. Заявл. 17.10.2019. Опубл. 29.01.2020. Бюл. № 4.
27. Кропоткин П. Записки революционера. — Лондон, СПб.: Свободная мысль, 1906.
28. Шоу Б. Человек и сверхчеловек. Афоризмы для революционеров // ПСС. Т. 1. М.: В. М. Саблин, 1911.
29. Малевич. К. Мир как беспредметность Мюнхен: Albert Langen Verlag, 1927.
30. Изобретатель из Петербурга модернизировал светофор и получил патент на свою разработку. <https://www.dzen.ru/a/Xl00ElAzz1gth7Mi?ysclid=ml5m6raxc7564732121>