

**К ФОРМАЛИЗАЦИИ СВЕТОФОРНОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ – ПОНЯТИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО  
СИГНАЛА И ЕГО СИСТЕМАТИКА**  
ON FORMALIZATION OF TRAFFIC LIGHT CONTROL –  
THE CONCEPT OF A CONTROL SIGNAL  
AND ITS SYSTEMATICS

**Д.С. Саражинский**, канд. физ.-мат. наук,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь  
D. Sarazhinskii, Doctor of Philosophy,  
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

*С целью унификации и упрощения построения «умных» систем автоматического управления дорожным движением на базе светофорной сигнализации предпринимается попытка построения универсальной (в рамках Венской конвенции о дорожных знаках и сигналах) формализованной концепции светофорного регулирования. В данной работе рассматривается первый этап такого построения, состоящий в переосмыслении, формализации и систематике такого центрального понятия как сигнал светофора.*

*For the purpose of unifying and simplifying construction of "smart" automatic traffic control systems based on traffic signaling, an attempt is made to build a universal (in the framework of the Vienna Convention on Road Signs and Signals) formalized concept of traffic light regulation. This paper considers the first stage of such construction, which consists in rethinking, formalizing and systematizing such a central concept as traffic light signal.*

*Ключевые слова: интеллектуальные системы управления дорожным движением, принципы светофорного регулирования, сигналы светофора, систематика.*

*Keywords: intelligent traffic control systems, traffic light control principles, traffic signals, systematics.*

## ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие технологических новшеств, включая развитие беспилотного транспорта, вызывают к необходимости перехода на новый уровень в автоматическом управлении светофорной сигнализацией. Одним из значительных препятствий на пути к этому является отсутствие формализации принципов такого управления. В частности, отсутствует общепринятая формализованная концепция, на основе которой можно было бы строить системы управления, владеющие *полной информацией* о том, какие управляющие сигналы и каким образом можно подавать с помощью светофорной сигнализации так, чтобы эти сигналы и их переключения были ожидаемым образом распознаны и интерпретированы всеми участниками движения. Несмотря на кажущуюся простоту базовых принципов светофорного регулирования, на практике из-за различных нюансов, связанных с многообразием гласных и негласных трактовок сигналов светофора, особенностями правил применения светофорного регулирования и т.п., построение такой общей формализованной концепции оказывается не такой простой задачей. Так, например, до сих пор нет общепринятой четкой фиксации управляющих значений сигналов, представленных комбинацией световых огней основной и дополнительной секций (в различных странах можно найти различные явные и неявные трактовки). До сих пор нет общепринятой четкой фиксации управляющих значений зеленого огня основной секции в виде круга и стрелки (зачастую де-юре их значения отождествляются, хотя де-факто, особенно при повороте налево, трактуются участниками движения как различные). Кроме того, возникает вопрос и с формализацией принципов переключения между такими сигналами. Например, если комбинация зеленый круглый огонь в основной секции + зеленая стрелка в дополнительной трактуется как один управляющий сигнал, а красный/желтый огонь в основной + зеленая стрелка в дополнительной – как другой, то вариант переключения сигнализации, когда выключение зеленой стрелки в дополнительной секции на пару секунд запаздывает за выключением зеленого огня основной приводит к тому, что в этом случае на эти пару секунд фактически включается новый управляющий сигнал. Насколько это допустимо, и если не допустимо, то каким образом предписать переключение, чтобы таких ситуаций не могло возникать?

На сегодняшний день, насколько известно автору, с данными проблемами борются либо тем, что делают систему управления «глупой», по минимуму «проявляющей самодеятельность» (ответственность же за все нюансы, связанные с включениями сигналов, отдают технологу-программисту таких систем), либо отказываются от использования «сложных сигналов», например, избавляясь от дополнительных секций на светофорах. Первый подход, очевидно, ограничивает гибкость системы и возможность наделить ее «интеллектом» и самостоятельностью. Второй же ограничивает возможности светофорного регулирования (за счет сужения арсенала сигналов), что может влиять в конечном счете на эффективность организации управления.

Все это делает актуальной задачу формализации светофорного регулирования, решение которой естественно начать с этапа формализации и систематики самого понятия «сигнал светофора». Именно его разработке и посвящена данная работа. (Разработку последующих этапов предполагается провести в следующих статьях).

## ПОНЯТИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО (ЛОГИЧЕСКОГО) СИГНАЛА

Анализ показывает, что в общем случае при светофорном регулировании так или иначе приходится сталкиваться со следующими фундаментальными понятиями (которыми обычно манипулируют в неявном виде, и которые, в соответствие с целью работы, имеет смысл выделить явно, дав им соответствующие определения).

*Управляющий логический сигнал* – представитель класса световых сигналов (светофора), несущих одно и то же управляющее логическое значение, совпадающее с управляющим логическим значением одного из сигналов, прописанных в Венской конвенции о дорожных знаках и сигналах (или ее расширении, см. ниже).

Так, например, и зеленый мигающий свет (в виде силуэта идущего человека) пешеходного светофора на постсоветском пространстве, и оранжевый мигающий свет (в виде ладони) пешеходного светофора в США, и желтый свет пешеходного светофора в Швейцарии – все они по своему управляющему логическому значению для участника движения никак не отличаются между собой, а потому могут быть объединены в один класс. В качестве типичного

представителя этого класса можно выбрать любой из них, например, зеленый мигающий свет. Его тогда и можно будет отождествлять с соответствующим управляющим логическим сигналом.

Стоит отметить, что с точки зрения управления именно управляющий логический сигнал является центральным понятием, с которым в первую очередь приходится (явно или неявно) работать системам управления, а отнюдь не конкретное физическое представление этого сигнала в виде огня светофора.

В общем случае управляющее логическое значение имеет смысл подразделять на следующие два вида:

1) *основное* управляющее значение, включающее

- информацию о типе участников движения и направлениях, на которые распространяется управляющее действие;
- информацию о праве проезда/прохождения;
- информацию о порядке определения преимущества движения в конфликтных ситуациях;

2) *дополнительное* управляющее значение, включающее

- информацию о переходном процессе, связанном со сменой основного управляющего значения. В зависимости от того, какой характер носит процесс (относится к начальному периоду длительности основного логического значения или к конечному), имеет смысл различать В- и Е- дополнительные логические значения (от английских «Begin» – начало, «End» – конец).

Таким образом, в общем случае: логическое значение управляющего сигнала = основное управляющее значение + дополнительное управляющее значение.

Управляющий логический сигнал, который несет только основное значение, имеет смысл называть *основным управляющим логическим сигналом*. В противном случае (если присутствует непустое дополнительное управляющее значение) – *переходным управляющим логическим сигналом*.

Имеет также смысл договориться представителя множества всех управляющих логических сигналов с одним и тем же основным управляющим значением называть просто *управляющим (логическим) сигналом*. С учетом этого, можно считать, что один и тот же управляющий логический сигнал может иметь разные формы (соответственно, *оформления*):

- основная форма;

- В – переходная форма;
- Е – переходная форма.

Соответствующий пример приведен на рисунке 1 ниже.



Рисунок 1 – Систематика управляющих (логических) сигналов

С учетом введенного выше понятия управляющего логического сигнала имеет теперь смысл обратиться к вопросу о систематизации всех наиболее часто встречающиеся в явном или неявном виде таких сигналов.

Для унификации представления такой систематики удобно сперва условно расширить текущий вариант Венской конвенции о дорожных знаках и сигналах [1] следующими дополнениями.

## УСЛОВНОЕ РАСШИРЕНИЕ ВЕНСКОЙ КОНВЕНЦИИ О ДОРОЖНЫХ ЗНАКАХ И СИГНАЛАХ СТАТЬЯ 23

### Сигналы, предназначенные для регулирования движения транспортных средств

1. b)

*iii) зеленый мигающий сигнал означает незамедлительную смену указаний сигнала, но он не изменяет разрешения проезда, предписанного зеленым огнем;*

10. Когда сигнал трехцветной системы дополнен одним или несколькими зелеными огнями, имеющими стрелку или стрелки, [...]

*Высвечивание такого огня совместно с зеленым огнем или мигающим зеленым огнем трехцветной системы, разрешающим движение в том же направлении, в котором указывает соответствующая стрелка или стрелки, означает, что движение в данном направлении защищено от конфликтов пересечения с другими транспортными средствами.*

*Мигание дополнительного зеленого огня означает незамедлительную его смену, но он не изменяет значения, предписанного горящему дополнительному зеленому огню.*

*14. В трехцветной системе желтый огонь может дополняться другим желтым огнем (альтернативным желтым огнем) с тем же значением и требованиями.*

С учетом приведенного условного расширения Венской конвенции систематика базовых управляющих логических сигналов теперь может быть представлена в следующем общем виде (см. таблицы ниже).

Таблица 1 – Основные управляющие логические сигналы

Наименование основного управляющего сигнала	Предавание	Управляющее логическое значение
транспортные		
логический транспортный красный мигающий		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
логический транспортный красный		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
логический транспортный (обычный) зеленый		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося зеленого огня
логический транспортный дополнительный зеленый		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося дополнительного зеленого огня (в виде стрелки или стрелок)
логический транспортный акцентированный зеленый		как в <b>расширенной</b> Венской конвенции п.10 для соответствующего высвечивающегося огня

логический транспортный желтый мигающий		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
логический транспортный отсутствующий		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
пешеходные		
логический пешеходный красный		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
логический пешеходный зеленый		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
логический пешеходный отсутствующий		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня

Таблица 3 – Переходные управляющие логические сигналы

Наименование переходного управляющего сигнала	Предавление	Управляющее логическое значение
транспортные		
логический транспортный желтый		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
логический транспортный желтый альтернативный		как в <b>расширенной</b> Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
логический транспортный красно-желтый		как в Венской конвенции для соответствующих высвечивающихся огней
логический транспортный зеленый (обычный) мигающий		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
логический транспортный мигающий акцентированный зеленый		как в <b>расширенной</b> Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
логический транспортный мигающий дополнительный зеленый		как в <b>расширенной</b> Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня

логический транспортный дополнительный зеленый и желтый		как в Венской конвенции для соответствующих высвечивающихся огней (при условии отношения сигналов огней к одному и тому направлению)
логический транспортный дополнительный зеленый и альтернативный желтый		как в <b>расширенной</b> Венской конвенции для соответствующих высвечивающихся огней (при условии отношения сигналов огней к одному и тому направлению)
логический транспортный мигающий дополнительный зеленый и красный		как в <b>расширенной</b> Венской конвенции для соответствующих высвечивающихся огней (при условии отношения сигналов огней к одному и тому направлению)
логический транспортный дополнительный зеленый и красно-желтый		как в Венской конвенции для соответствующих высвечивающихся огней (при условии отношения сигналов огней к одному и тому направлению)
логический транспортный мигающий дополнительный зеленый и красно-желтый		как в <b>расширенной</b> Венской конвенции для соответствующих высвечивающихся огней (при условии отношения сигналов огней к одному и тому направлению)
логический транспортный зеленый акцентированный и зеленый мигающий		как в <b>расширенной</b> Венской конвенции для соответствующих высвечивающихся огней (при условии отношения сигналов огней к одному и тому направлению)
логический транспортный мигающий зеленый акцентированный и зеленый		как в <b>расширенной</b> Венской конвенции для соответствующих высвечивающихся огней (при условии отношения сигналов огней к одному и тому направлению)
<b>пешеходные</b>		
логический пешеходный желтый		как в Венской конвенции для соответствующего высвечивающегося огня
логический пешеходный желтый альтернативный		как логически пешеходный желтый

*Примечание 1. Альтернативные желтые сигналы предполагают их использование при переключениях из желтого мигания/отключенные светофоры в красный*

сигнал. Так, например, соответствующие сигналы в настоящее время активно используются в США в схемах управления с так называемым «flashing yellow arrow» сигналом.

*Примечание 2.* Как можно видеть, фактически для транспорта выделяется три различных «зеленых» управляющих логических сигнала:

– логический транспортный (обычный) зеленый, который, в соответствие с [1], ст. 23, п.1, а), только разрешает движение в том или ином направлении. Его «формула распознавания водителем»: *«зеленый огонь в основной секции светофора относится и к моему направлению движения»*. (см. рисунок 2, а));

– логический транспортный дополнительный зеленый, который, в соответствие с [1], ст. 23, п.10, разрешает движение, но с потерей преимущества движения перед транспортными средствами, в конфликтах «слияния». Его исходная «формула распознавания водителем»: *«зеленый огонь в дополнительной секции светофора относится и к моему направлению движения»* (см. рисунок 2, б))

Здесь нужно особо отметить, что в Венской конвенции о дорожных знаках и сигналах значение этого сигнала не зависит от того, какие огни горят в тот же момент в основных секциях!

– логический транспортный акцентированный зеленый, который используется во многих странах с целью помимо разрешения движения еще и сообщить водителю дополнительную информацию об отсутствии конфликтов пересечения. В различных странах его представление на светофоре может быть различным, однако, если брать за основу представление, которое на данный момент используется в Англии (см. “indicative arrow”, [2]), то «формулу распознавания водителем» можно записать следующим образом: *«зеленый огонь в основной секции светофора и зеленый огонь в дополнительной секции **оба** относятся и к моему направлению движения»*. (см. рисунок 2, с).

Идея здесь простая – «двойное» разрешение на проезд (когда достаточно было только одного) сообщает о дополнительной защищенности водителя от конфликта, в первую очередь конфликта пересечения.

В других странах эта же информация о том, что у водителя дополнительная защищенность от конфликтов пересечения, может

доноситься, например, (как это в явном виде сделано в США), с помощью использования зеленого огня в форме одиночной стрелки в основной секции.

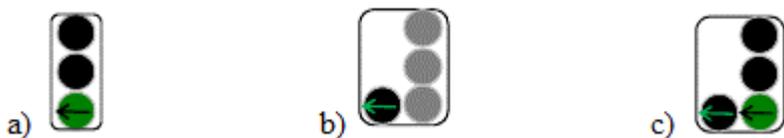


Рисунок 2 – Представление «зеленых» логических сигналов для движения налево:  
а) (обычного) зеленого; б) дополнительного зеленого;  
с) акцентированного зеленого

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные понятия и систематика управляющего сигнала, как видится, охватывает и согласуется с большинством реальных ситуаций и в то же время достаточно просты и удобны для построения формализованной концепции светофорного регулирования, что планируется продемонстрировать в дальнейших статьях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конвенция о дорожных знаках и сигналах, 1968 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/signalsr.pdf>.

2. Traffic Control System Design for All Purpose Roads (Compendium of Examples). MCH 1969, Issue A, December 2003. Printed and published by the Highways Agency. UK. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukroads.org/webfiles/MCH1969A.pdf>.

Представлено 20.03.2020