

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОФОРОВ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МОСКВА

УДК 004.421

Кирилл Сергеевич Саломатин,
Программист, ООО «БИАС»
Тел.: 8 (916) 838-52-32
Эл. почта: salomatin.kirill@gmail.com

Наличие светофора на дороге вносит дисбаланс в движение транспорта. В современном городе, таком как Москва, без них не обойтись, но необходимость в их использовании не всегда оправдана, так как существуют моменты в течение дня, когда их наличие не целесообразно и только лишний раз задерживает участников движения на перекрестках. В данной статье описывается алгоритм включения и отключения светофоров по мере их необходимости.

Ключевые слова: алгоритм, светофор, улично-дорожная сеть, оптимизация, транспорт.

Kirill S. Salomatin,
Programmer, LLC «BIAS»
Tel.: 8 (916) 838-52-32
E-mail: salomatin.kirill@gmail.com

OPTIMIZING THE USE OF TRAFFIC LIGHTS ON THE EXAMPLE OF MOSCOW

Presence of traffic on the road makes an imbalance in traffic. In a modern city such as Moscow, not do without them, but the need for their use is not always justified, as there are moments during the day, when their presence is not appropriate and just goes to participants in the movement delays at intersections. This article describes an algorithm to enable or disable traffic lights as they are needed.

Keywords: algorithm, traffic lights, street and road network, optimization, transportation.

1. Введение

В современных крупных городах проблема затрудненного движения на дорогах становится все острее и вызывает большое негодование жителей. Решение данной проблемы носит комплексный характер — это грамотное дорожное и градостроительство и развитие соответствующей информационной инфраструктуры. В данной работе рассматривается информационная составляющая, к которой относится регулировка дорожного движения.

В регулировке движения основную роль играет количество светофоров и режимы их работы. Анализируя современные дорожные перестройки в Москве, можно увидеть, что все работы сводятся к уменьшению количества светофоров, которое необходимо проехать водителю при поездке в центр города или наоборот из центра за город. Режим работы светофора и их типы регулируется ГОСТом Р 52289-2004 [1] (рис. 1).

Согласно данному ГОСТу длительность работы желтого сигнала должна быть равна 3с (пункт 7.4.2). Также мигание красного с желтым светом должно быть не более 2с. Также предусмотрено мигание зеленого сигнала перед его выключение в течение 3с (пункт 7.4.3). В случае же уменьшения интенсивности движения на 50% относительно условий применения светофора возможно переключение светофора в режим мигания желтого света (пункты 7.2.14 и 7.4.4). Но как показывает практика, данный режим используется либо рано утром, либо поздно вечером и к реальному состоянию дороги отношения не имеет. Известно, что движение на дороге имеет часы пиковой нагрузки, зависящие от времени суток и дня недели. В эти периоды светофор необходим. Но в остальное же время это утверждение не всегда истинно.

На данный момент в Москве реализуется интеллектуальная транспортная система, включающая адаптивное управление светофорами[2][3]. Такой подход позволяет светофорам подстраиваться под ситуацию в городе. Это позволит решать проблему с увеличенным транспортным потоком, который наблюдается в «часы пик». В остальное же время светофоры могут только вносить лишнюю задержку в движение транспорта.

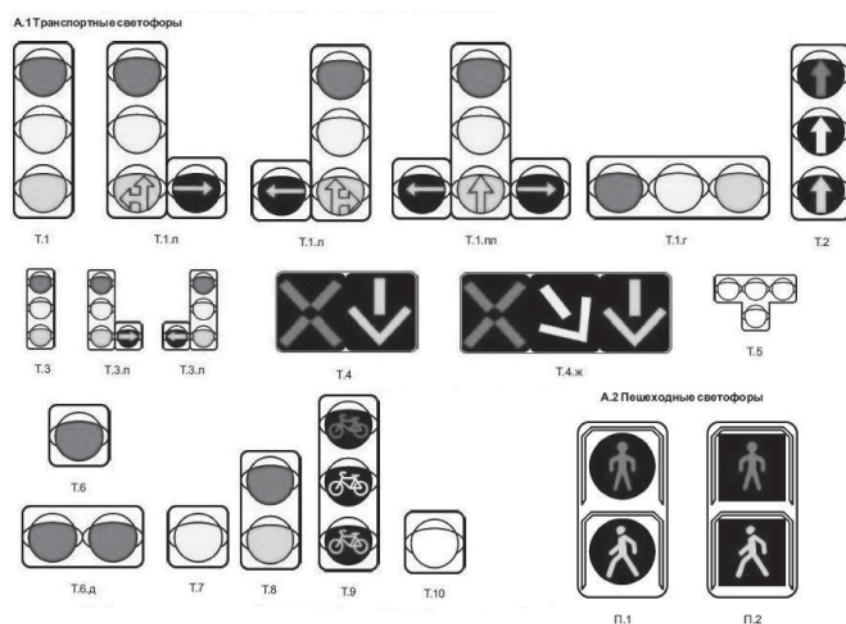


Рис. 1. Типы светофоров

Пусть существует некоторая дорога, где Δt 30с, $V=60\text{км/ч} = 17 \text{ м/с}$. На рис.2 показано влияние наличия светофора на пропускную способность при уменьшении $\Delta t = 3 \text{ секунды}$ и *отсутствии светофора*.

На рисунке 3 показано влияние этого же светофора, но при скорости равной 50 км/ч.

Как видно на рисунке 2 и 3 светофор оказывает существенное влияние на пропускную способность дороги. Причем, чем выше скорость, тем влияние больше.

2. Постановка задачи

Согласно ГОСТ Р 52289-2004 [1] существуют определенные условия, необходимые для установки светофоров на удс города:

1. Интенсивность движения транспортных средств пересекающихся направлений в течение каждого из любых 8 ч рабочего дня недели не менее значений, указанных в таблице 1.

2. Интенсивность движения транспортных средств по дороге составляет не менее 600 ед./ч (для дорог с разделительной полосой – 1000 ед./ч) в обоих направлениях в течение каждого из любых 8 ч рабочего дня недели. Интенсивность движения пешеходов, пересекающих проезжую часть этой дороги в одном, наиболее загруженном, направлении в то же время составляет не менее 150 пеш./ч. В населенных пунктах с числом жителей менее 10 000 чел. значения интенсивности движения транспортных средств и пешеходов по условиям 1 и 2 составляют 70% от указанных.

3. Значения интенсивности движения транспортных средств и пешеходов по условиям 1 и 2 одновременно составляют 80% или более от указанных.

4. На перекрестке совершенно не менее трех дорожно-транспортных происшествий за последние 12 месяцев, которые могли быть предотвращены при наличии светофорной сигнализации. При этом условия 1 или 2 должны выполняться на 80% или более.

Данные условия являются необходимыми и достаточными для установки светофора.

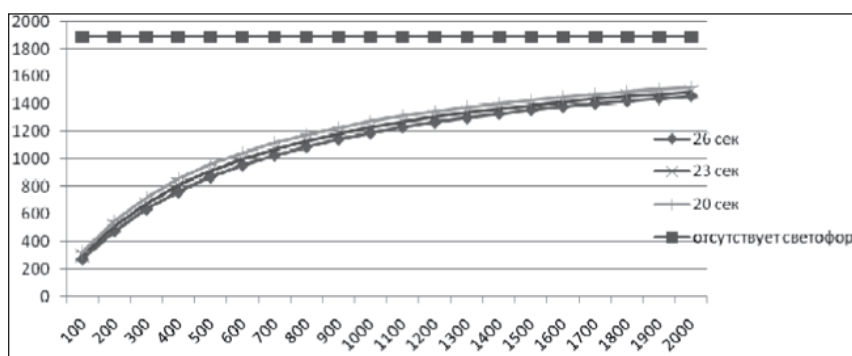


Рис. 2. Влияние наличия светофора на пропускную способность при $V=60\text{км/ч}$

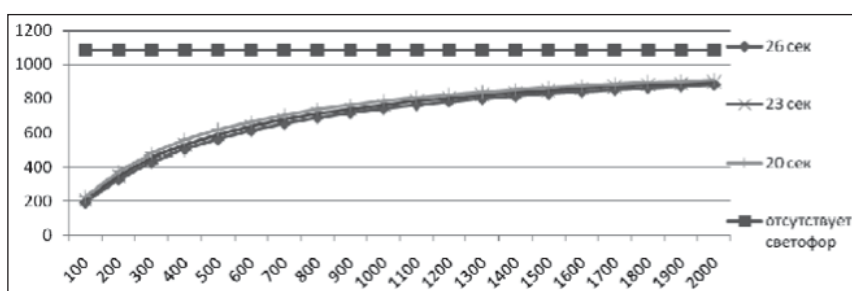


Рис. 3. Влияние наличия светофора на пропускную способность при $V=50\text{км/ч}$

Таблица 1

Интенсивность движения транспортных потоков пересекающихся направлений

Число полос движения в одном направлении		Интенсивность движения транспортных средств, ед./ч	
Главная дорога	Второстепенная дорога	по главной дороге в двух направлениях	по второстепенной дороге в одном, наиболее загруженном, направлении
1	1	750	75
		670	100
		580	125
		500	150
		410	175
2 и более	1	380	190
		900	75
		800	100
		700	125
		600	150
2 или более	2 или более	500	175
		400	200
		900	100
		825	125
		750	150
2 или более	2 или более	675	175
		600	200
		525	225
		480	240

В таблице 1 указаны пересечения значений на смежных дорогах, при выполнении которых необходимо включение светофора. Необходимо написать алгоритм, который будет отслеживать данное пересечение

и заранее включать светофор или же выключать его, когда в нем нет надобности.

Необходимо выделить основные пункты задачи, на которые следует ответить при разработке алгоритма.

1. Разрабатываемый алгоритм должен оперативно реагировать на меняющуюся обстановку.

2. Включение светофора должно происходить в плавном режиме, т.е. возможность включения должно прогнозироваться и не быть резким и неожиданным для участников дорожного движения.

3. Основные концепции рассматриваемого алгоритма

Так как в таблице 1 указаны пересечения значений загруженности дорог, необходимые для установки светофора, соответственно, постоянно отслеживая ситуацию с загруженностью дорожной сети, можно определить необходимый момент времени для включения светофора. Для этой цели необходимо вести статистику показаний загруженности дорог города. Причем особое внимание необходимо уделять показаниям, превышающим предыдущее значение. Благодаря статистическим данным, можно отслеживать общую тенденцию развития ситуации, как в краткосрочной перспективе, так и в долгосрочной. Это достигается путем построения вектора развития. Данный вектор представляет собой направленный отрезок, который формируется на основе кардинально меняющихся данных. Например, на рисунке 4 указаны данные изменяемые в течение некоего временного интервала.

Как видно на рисунке 4 показания представляют собой некий неоднородный график, который содержит как подъемы, так и падения, т.е. представляет собой некую синусоиду. Для анализа общей тенденции данный график можно разделить на следующие части относительно оси X: (0–1), (1–5), (5–7), (7–8). Необходимо рассмотреть эти участки в отдельности и определить направление их вектора.

Участки (0–1) и (7–8) – тривиальны и показывают направление вверх, т.е. на увеличение показаний. Участок (5–7) также тривиален и однозначно указывает на спад загруженности.

На участке (1–5) происходит последовательная смена направления движения: на участке (1–2) происходит спад загруженности, а

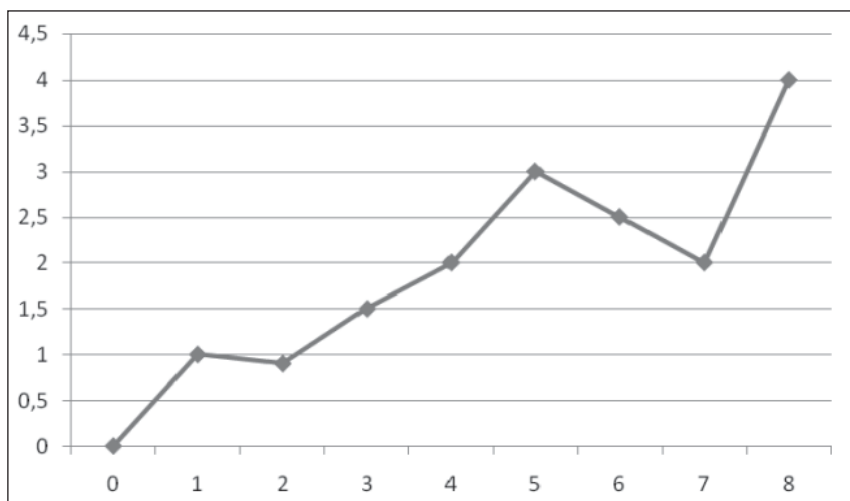


Рис. 4. Изменение данных по загруженности дороги по времени

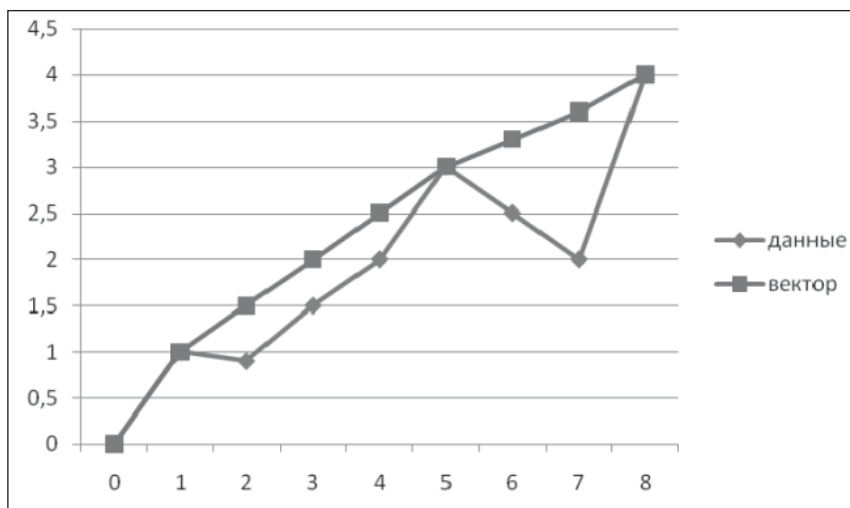


Рис. 5. Увеличение загруженности

на участке (2–5) происходит увеличение. Причем, участок (2–5) значительно больше, чем (1–2) и показания на участке (2–5) выше, чем на участке (1–2). Из этого следует, что показания на участке (1–5) направлены в сторону увеличения.

В итоге из 4-х отрезков только один направлен в сторону уменьшения показаний, причем данный отрезок не является крайним, а следующий за ним направлен в сторону уменьшения. Исходя из сказанного, можно однозначно сделать вывод, что общий вектор направлен в сторону увеличения загруженности. Для графического отображения необходимо взять все вершины соответствующих участков и соединить их.

Теперь необходимо рассмотреть обратную информацию.

На рисунке 6 указан график уменьшения загруженности. Также, разбив исходный интервал на смысловые участки можно охарактеризовать направление изменения данных в этих участках и, как следствие, общее направление изменения данных.

Построив данные вектора можно охарактеризовать ситуацию на каждой из дорог (главной и второстепенной). В таблице 1 указаны показания на соответствующих дорогах при которых необходимо включать светофор.

Представив данные из таблицы 1 в виде графика и дополнив его графиком изменения загруженности на главной и второстепенной дорогах, можно наглядно увидеть необходимость в манипуляции светофором.

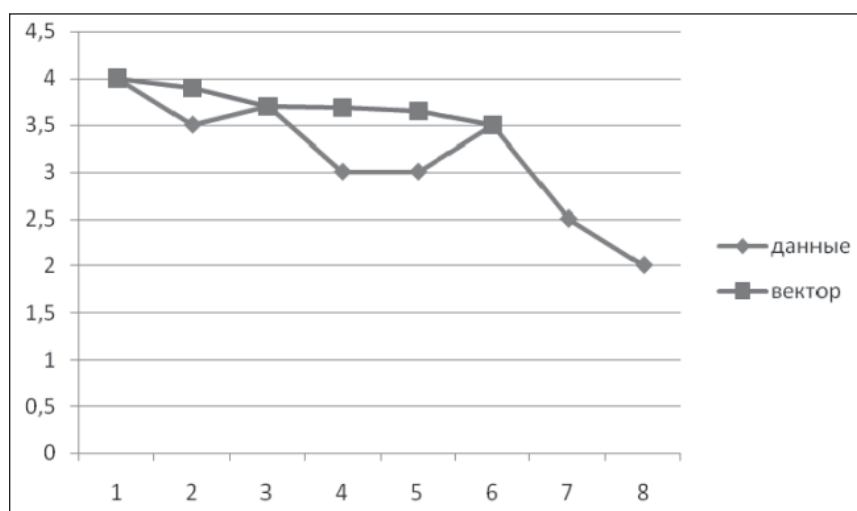


Рис. 6. Уменьшение загруженности

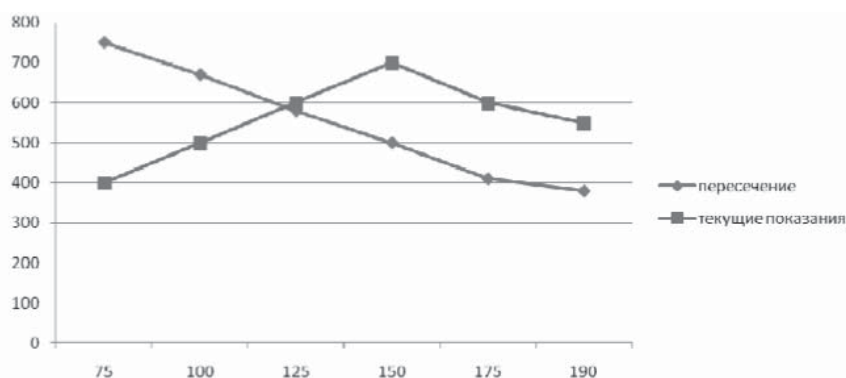


Рис. 7. Включение светофора

Для удобства используются данные для однополосных дорог.

Как видно на рисунке 7 оба графика имеют точку пересечения. Это означает, что в данной точке необходимо производить манипуляции со светофором, т.е. включить либо выключить его. Для выбора действия необходимо выявить в какую сторону развивалась загруженность дороги до момента пересечения. Для этого и используется вектор направленности загруженности. Если данный вектор направлен в сторону увеличения, то значит в точке пересечения необходимо включить светофор, если же в сторону уменьшения, то в таком случае светофор необходимо отключить.

Включение или отключение светофора не должно быть спонтанным. В таком случае на дороге может начаться хаос и увеличится вероятность аварии. Необходимо иметь возможность прогнози-

рования необходимости включения/отключения светофора. Благодаря этому водители будут подготовлены к включению светофора и это не будет для них сюрпризом, что в свою очередь уменьшит вероятность аварий и нарушений ПДД.

Прогнозирование развития ситуации достигается путем анализа постоянно поступающей статистической информации в течении некоего временного промежутка. Для примера можно использовать график изменения загруженности на рисунке 4. Как было сказано выше данный график направлен в сторону увеличения загруженности.

В рамках исследуемой задачи необходимо также определить моменты инициализации передачи информации на обработку. Так как основной объект исследования – пропускная способность дороги, то и инициатором передачи информации на обработку целесообразнее

использовать участников движения. В связи с тем, что движение на дорогах носит динамический характер, соответственно и обрабатывать информацию необходимо в динамике. А если на дороге нет никакого движения, то и нагружать информационные ресурсы нет смысла.

Также для инициализации передачи информации можно использовать и определенные временные интервалы. Но есть сложность в их составлении, так как эти интервалы не должны быть ниже минимально необходимого времени для обработки полученной информации. В противном случае, обработка информации может просто увеличиться по времени из-за появления длинных очередей на обработку. К тому же эти временные интервалы необходимо динамически изменять в зависимости от дорожной обстановки. А на перестройку временных интервалов требуется время, которое можно было бы направить на другие задачи.

4. Алгоритм получения информации для обработки

Момент передачи информации инициализируется после прохождения транспортным средством определенного места на дороге. Причем при пересечении передним бампером происходит активация сбора информации, а при пересечении задним бампером – её передача для обработки. Причем в период между сбором и передачей информации можно также получить и дополнительные данные, такие как скорость движения транспортных средств.

Причем при активации сбора информации, также проверяется время последней передачи информации. Если полученное время меньше минимально необходимого для обработки, то данный процесс сбора информации можно прервать и дожидаться следующего. Прерывание делается с целью уменьшения вероятности создания очередей на обработку информации и нагрузок на ресурсы обработчика информации. И как следствие уменьшения вероятности задержек в обновлении информации о дорожной ситуации.

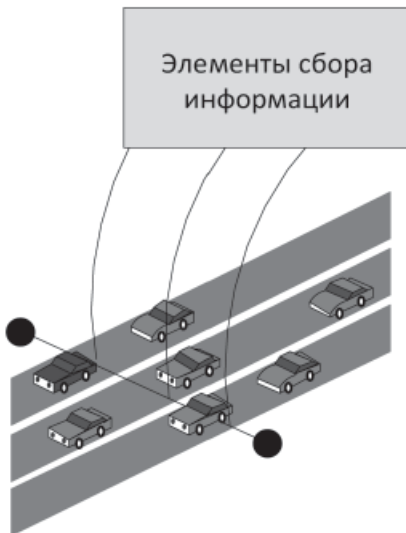


Рис. 8. Многополосная дорога

Такой метод инициализации сбора информации позволяет отслеживать ситуацию на каждой из полос в отдельности, представляя их как самостоятельные единицы. Но

при этом, агрегируя информацию поступающую со всех полос одной дороги, можно получить общие показания о ситуации на дороге.

Дорога с одной полосой является частным случаем многополосной дороги.

5. Алгоритм анализа получаемых результатов

Алгоритм предугадывания включения и выключения светофора довольно прост.

1. Для начала необходимо выяснить направление развития загруженности дороги.

2. Если движение направлено в верх, то необходимо выяснить – будет ли достигнут критический порог через одну итерацию. Если такая вероятность есть, то при следующей итерации необходимо подготовить водителей к включению светофора, если он до этого не был включен. В противном слу-

чае все можно оставить без изменений.

3. Если движение направлено в сторону уменьшения показателя загруженности, то при условии, что светофор работает, необходимо выяснить, будет ли через одну итерацию достигнут критический порог. Если да, то тогда при следующей итерации необходимо будет подготовить водителей к выключению светофора. Иначе все можно оставить без изменений.

4. Если же изменений никаких нет, то необходимо ждать следующей итерации.

На рисунке 9 представлен данный алгоритм в виде блок-схемы.

6. Вывод

Как видно на рисунках 2 и 3 при увеличении скорости движения влияние светофора сказывается на пропускной способности дороги негативно. Особенно это критично для малых расстояний между светофорами.

Используя разработанный алгоритм можно всегда оперативно реагировать на складывающуюся обстановку. Так как непосредственными инициаторами работы алгоритма являются участники дорожного движения, то данный алгоритм всегда будет оперативно реагировать на складывающуюся обстановку. Учитывая, что каждый светофор рассматривается отдельно, можно каждый светофор считать независимой единицей. И если есть необходимость включения светофора только на части дороги, то это не означает, что такая же необходимость есть на остальной части дороги.

Оптимизация в управлении светофором также позволяет снизить уровень загрязнения от выхлопных газов, т.к. известно, что наибольший уровень загрязнения автомобилем происходит при его разгоне и торможении [4].

Литература

1. ГОСТ Р 52289-2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и

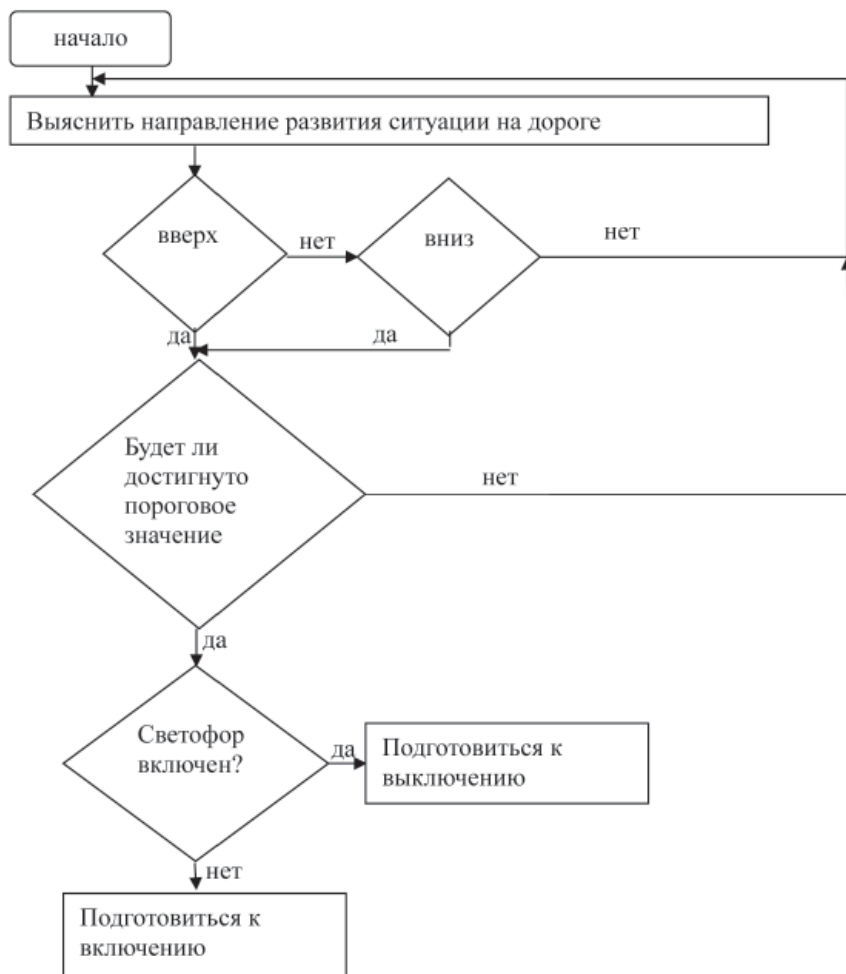


Рис. 9. Блок-схема работы алгоритма

направляющих устройств. Издание официальное.

2. <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/296386/> «Постановление Правительства Москвы от 11 января 2011 г. N 1-ПП «О создании интеллектуальной транспортной системы города Москвы».

3. <http://gucodd.tprs.ru/adaptivnoe-upravlenie-svetofornymi-obektami> «Адаптивное управление светофорными объектами».

4. Куман Н.Л. «Исследование и разработка методов регулирования загрязнения городского воздуха, вызванного автомобильным транспортом» РГГМИ, 1996.

References

1. GOST R 52289-2004 Technical means of traffic. Terms of use of road signs, markings, traffic lights, road barriers and traffic devices. Official publication.

2. <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/296386/> Resolution of the Government of Moscow on January 11 2011 N 1-PP On creation of intelligent transport system in Moscow.

3. <http://gucodd.tprs.ru/adaptivnoe-upravlenie-svetofornymi-obektami> Adaptive control of traffic lights.

4. Kuman N.L. Research and development of methods to control urban air pollution caused by road RGGMI, 1996.