

УДК 656.051

DOI: 10.34220/2311-8873-2021-4-4-51-63

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВВОДА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ
ЛЕВОПОВОРОТНОЙ ФАЗЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Дорохин С.В., Лихачев Д.В., Богданов С.А., Сорокин А.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Email: lihachev_dv@mail.ru

Аннотация: В работе выполнен анализ зарубежного и российского подхода к расчету регулируемого перекрестка, определены основные принципы и подходы, используемые при построении схем пофазного разъезда. Выполнена классификация используемых подходов с учетом зарубежного и отечественного опыта. В ходе анализа нормативных источников было установлено что существует множество подходов к выбору организации схемы дорожного движения на регулируемых участках. Особое внимание в данном вопросе занимает ввод специализированной фазы для выполнения левого поворота, в основном данный выбор осуществляется инженером-проектировщиком, основываясь в основном на спросе на выполнение левого поворота, без анализа основных характеристик транспортного потока, а именно длины очереди, скорости движения и задержек транспортных средств. Определены основные расчетные параметры, используемые при определении необходимости ввода специализированной левоповоротной фазы при использовании светофорного регулирования.

Ключевые слова: светофорное регулирование, длительность цикла, зарубежный и отечественный подход, расчет, специализированная фаза, левый поворот, транспортные характеристики.

ANALYSIS OF THE PROCESS OF ENTERING A SPECIALIZED
LEFT-STEERING PHASE REGULATION

Dorokhin S.V., Likhachev D.V., Bogdanov S.A., Sorokin A.V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Voronezh State Forestry University. G.F. Morozova»

Email: lihachev_dv@mail.ru

Summary: The paper analyzes the foreign and Russian approach to the calculation of a controlled intersection, defines the basic principles and approaches used in the construction of phase-by-phase crossing schemes. The classification of the approaches used is carried out taking into account foreign and domestic experience. In the course of the analysis of regulatory sources, it was found that there are many approaches to the choice of the organization of the traffic scheme in regulated areas. Particular attention in this matter is paid to the introduction of a specialized phase for performing a left turn, basically this choice is made by a design engineer, based mainly on the demand for performing a left turn, without analyzing the main characteristics of the traffic flow, namely the queue length, speed and traffic delays. funds. The main design parameters used to determine the need to enter a specialized left-turn phase when using traffic light control have been determined.

Keywords: traffic light regulation, cycle duration, foreign and domestic approach, calculation, specialized phase, left turn, transport characteristics.

Введение

Сегодня, одной из основных проблем в области организации дорожного движения является высокая нагрузка на улично-дорожную сеть, в связи с колоссальными темпами роста автомобилизации. Данная проблема оказывает влияние на все области благоуспешного функционирования страны, в связи с тем, что в каждой области присутствует составляющая – транспорт. Негативный эффект автомобилизации выражается в значительных потерях времени как водителей, пассажиров, так и пешеходов, перерасходе топлива, низких скоростях движения, что зачастую приводит к возникновению аварийных ситуаций и как следствие нарушение экологической и экономической составляющей всего государства. Основная причина возникновения таких явлений заключается в неприспособленности дорожной сети к существующему уровню автомобилизации, темпы ее развития сегодня, значительно ниже количества прироста автомобилей, предназначенного для личного пользования. Особенно остро заторовые ситуации наблюдаются на регулируемых участках, что свидетельствует о неэффективном способе организации дорожного движения – схеме пофазного разъезда.

Цель исследования

Выполнить анализ существующих методов организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.

Материал и методы исследования

Исследование выполнено на основе трудов ведущих отечественных и зарубежных ученых в области организации дорожного движения.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате анализа нормативных источников [1-3], в которых даются рекомендации по вводу специализированного левого поворота, как отдельной фазы регулирования, установлено что они базируются на двух показателях:

1 Безопасном – подразумевающим аварийность рассматриваемого участка (регулируемого перекрестка), а именно количество дорожно-транспортных происшествий, которых можно было избежать введением специализированного левоповоротного движения – дополнительной фазы регулирования;

2 Организационном, под которым понимается интенсивность левоповоротного потока, которая находится свыше 120 ед. / ч.

В результате анализа исследований российских ученых установлено, что наибольший вклад в исследование процесса ввода левого поворота внес А.А. Цариков [4-6], он определил новый подход к расчету в зависимости от радиуса поворота, классифицировав их до 40 м и свыше.

Если радиус поворота меньше 40 м, он рекомендует рассчитывать величину потока насыщения по формуле:

$$M_{н.лев} = 770 + 60 \cdot R - 0,74 \cdot R^2, \quad (1)$$

где R – радиус поворота, м.

Если радиус поворота более 40 м, то расчет необходимо производить по следующей формуле:

$$M_{н.лев} = \frac{84 + 1,4 \cdot t_{зел} - 0,03 \cdot t_{зел}^2}{100} \cdot M_{н(R)}, \quad (2)$$

где $t_{зел}$ – продолжительность разрешающего такта, с; $M_{н(R)}$ – величина потока насыщения в зависимости от радиуса поворота.

При радиусе поворота менее 40 м поток насыщения для левоповоротного движения предлагается рассчитывать по формуле:

$$M_{н.лев} = \frac{79 + 1,3 \cdot t_{зел} - 0,02 \cdot t_{зел}^2}{100} \cdot M_{н(R)}. \quad (3)$$

При радиусе поворота более 40 м и длительности разрешающего такта более 20 с, а также при радиусе менее 40 м и длительности такта более 30 с, производить корректировку потока насыщения от длительности разрешающего такта не следует.

Согласно исследованиям, основной вопрос заключается в целесообразности ввода специализированной фазы регулирования. В результате анализа научных источников, установлены основные типы схем организации движения левоповоротного потока. Более подробно существующие схемы дорожного движения были исследованы Поляковым А.А. [7-10], но в связи с изменением планировки строительства дорожных развязок и появлением новых схем организации дорожного движения при проектировании регулируемых пересечений, существуют новые подходы к организации левых поворотов (табл. 1).

Таблица 1 – Стадийное совершенствование организации левых поворотов [11]

1 Организация левых поворотов методом просачивания	
2 Организация левых поворотов методом отсечки	
3 Организация левых поворотов методом уплотнения	
4 Выделение отдельной фазы (в один ряд)	7 Запрет левых поворотов
5 Совместно с прямым в два ряда	7 А. Объезд левого поворота по кварталам
6 Выделение отдельной фазы (в два ряда)	7 Б. Оттянутые левые повороты на пересечении

Согласно анализу таблицы 1, можно сказать, что в зависимости от величины спроса на выполнение левого поворота будет выполняться каждая из стадий совершенствования организации движения при выполнении такого маневра. Цариковым А.А. [11] приведено более подробное описание каждой стадии. В наиболее простом случае, когда светофоры устанавливаются на простом четырехстороннем перекрестке (или на примыкании), возникает необходимость в поочередном пропуске транспортных потоков по главной и по пересекающей ее второстепенной улице. Следовательно, организация движения в данном случае должна предусматривать две фазы: первая фаза – движение по главной улице, вторая фаза – движение по второстепенной улице. При этом для транспортных средств, поворачивающих налево, специальные сигналы не вводятся, а маневр поворота налево осуществляется так называемым методом «просачивания», то есть водитель, которому нужно повернуть налево, выезжает при зеленом сигнале светофора по центру перекрестка, и ждет либо случайного перерыва в дви-

жении встречного потока, либо его остановки при появлении желтого сигнала светофора, после чего заканчивает маневр.

В случае, когда интенсивность левоповоротного движения превышает два автомобиля за цикл светофорного регулирования, необходимо вводить дополнительные фазы в цикл светофора (зеленые стрелки для левоповоротного движения) [12].

В современных условиях движения, когда транспортные средства имеют лучшие динамические качества, за цикл на пересечении налево успевает проехать 3 единицы. При нарушении правил дорожного движения [13], через перекресток налево может проходить большее количество автомобилей, при этом транспортные средства с других направлений могут быть задержаны на несколько секунд. Данный недостаток снижает пропускную способность других направлений, а также резко ухудшается уровень безопасности движения. Как следствие необходимо исследовать выполнение маневра левого поворота на просачивание, выяснить какое количество автомобилей пройдет через перекресток методом просачивания, и на какое время задерживается поток в следующей фазе.

При этом под микрофазой следует понимать кратковременное разрешение движения (до 10 секунд) по одному из направлений в течение сложного промежуточного такта без выделения его в отдельную фазу.

Введение сложного промежуточного такта после первой фазы (рис. 1), позволяет решать эту задачу практически без потерь. В первой фазе движение разрешено для направления 1, 2. Транспортные средства на направлении 2, ожидающие левого поворота, как правило, находятся близко к середине проезжей части. Промежуточный такт первой фазы начинается с зеленого мигания для направления 1н, на второй секунде транспортные средства которые находятся за стоп – линией на направлении 2н, включая левый поворот, продолжают движение. Такое увеличение на 3 с, при помощи зеленого дополнительного сигнала времени для направления 2 позволяет разгрузить левоповоротное движение интенсивностью до 200 ед. / ч.

Исходя из изложенного выше, необходимо исследовать увеличение пропускной способности левых поворотов методом «отсечки» при разных временах отсечки, и определить на каких пересечениях следует применять регулирование левых поворотов методом «отсечки».

Алгоритм регулирования методом «уплотнения» заключается в следую-

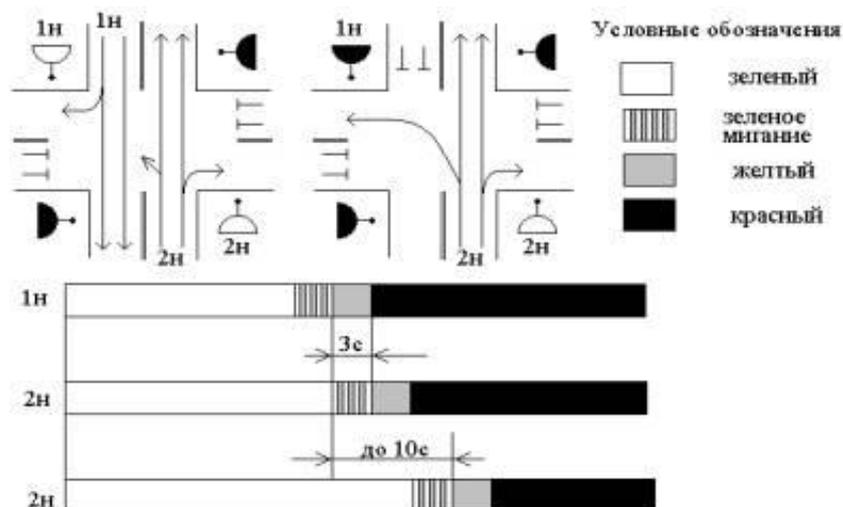


Рисунок 1 – Схема организации левых поворотов методом «отсечки»

щем. Три соседних пересечения соединяются между собой по линии связи. На первом и третьем пересечении схема движения организуется так, чтобы на некоторое время не двигались автомобили в сторону второго (центрального) пересечения. Тем самым создается разрыв между пачками автомобилей. Пачка проезжая перекресток номер два в прямом направлении проходит пересечение с плотностью потока насыщения, при этом следующая пачка еще не прибыла, то есть остается некоторое время для горения зеленого сигнала, которое используется для поворота автомобилей налево (рис. 2). Указанное возможно, если обеспечена управляющая связь между перекрестками, нагрузка на прямой поток не более 0,7-0,8, так как большие расстояния между перекрестками не позволяют сформировать разрывы между пачками.

Как указано выше, при интенсивности движения налево методом «просачивания» более двух единиц в цикл, необходимо вводить дополнительную фазу, в которой будет осуществляться левый поворот без конфликта.

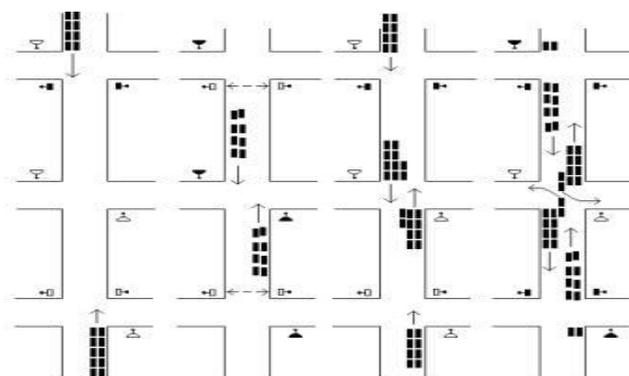


Рисунок 2 – Алгоритм регулирования методом «уплотнения» потока

Первоначально применяется трехфазная схема движения с одним левым поворотом (остальные левые повороты запрещены). Безопасность пешеходов при этом полностью обеспечена на всех четырех пешеходных переходах, левый поворот и все четыре правых осуществляются одновременно во 2-ой фазе, причем здесь сохраняется движение в одном из прямых направлений.

Таким образом, в Российской Федерации в основном применяются четыре метода ввода левого поворота:

- 1 Поворот налево совместно с прямым движением;
- 2 Поворот налево со специализированной полосы в одной фазе;
- 3 Поворот налево методом «отсечки»;
- 4 Поворот налево в специализированной фазе.

Основной проблемой при реализации данных методов является сложность в выборе того или иного подхода из-за отсутствия строго определенных критериев, основанных на натурных наблюдениях и методах моделирования. В основном ответственность за выбор метода ввода левого поворота возлагается на инженера-проектировщика, что может привести к повышению уровня аварийности на регулируемых участках.

Согласно анализу зарубежных источников [1, 14-17] установлено, что в зарубежной практике существует также несколько вариантов устройства схемы организации дорожного движения на регулируемых перекрестках.

Американские ученые Шейн и Росс [14] предлагали использовать один критерий при выборе специализированной поворотной фазы в зависимости от расчетного спроса на нее:

$$v_{LE} = v_L \cdot \frac{1}{1400/1800 - v_o/s}, \quad (4)$$

где v_{LE} – приблизительный спрос на поворотную полосу, (ед. / ч); v_L – фактический спрос на поворотную полосу, (ед. / ч); v_o – противоположная интенсивность движения, (ед. / ч); s – поток насыщения (ед. / ч).

Ученые из Техасского университета, предложили восемь возможных вариантов организации левого поворота при светофорном регулировании [15]:

- 1 Левый поворот, разрешенный в одной фазе (рис. 3);
- 2 Опережающий левый поворот в разных фазах (рис. 4);
- 3 Запаздывающий левый поворот в разных фазах (рис. 5);
- 4 Опережающий левый поворот, продолжающийся в следующей фазе

(рис. 6);

5 Левый поворот, разрешенный в одной фазе и продолжающийся в следующей фазе (рис. 7);

6 Выполнение левых поворотов в разных фазах (рис. 8);

7 Выполнение левых поворотов в разных фазах, с разрешением их продолжения в одной фазе (рис. 9);

8. Разрешение выполнение поворотов со сменой направления движения (рис. 10).

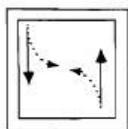


Рисунок 3 – Левый поворот, разрешенный в одной фазе

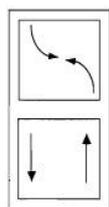


Рисунок 4 – Опережающий левый поворот в разных фазах

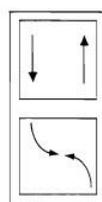


Рисунок 5 – Запаздывающий левый поворот в разных фазах

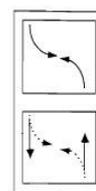


Рисунок 6 – Опережающий левый поворот, продолжающийся в следующей фазе

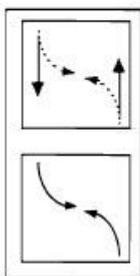


Рисунок 7 – Левый поворот, разрешенный в одной фазе и продолжающийся в следующей фазе

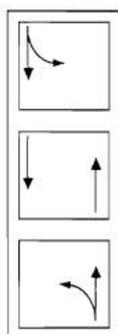


Рисунок 8 – Выполнение левых поворотов в разных фазах

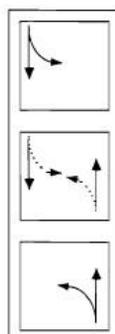


Рисунок 9 – Выполнение левых поворотов в разных фазах, с разрешением их продолжения в одной фазе

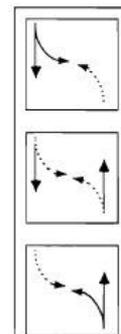


Рисунок 10 – Разрешение выполнения поворотов со сменой направления движения

Согласно исследованиям Льюиса Роберта и Питера Гордона [16] существует четыре варианта ввода левоповоротной фазы:

1 Опережающая левоповоротная фаза, когда движение левоповоротных транспортных средств разрешено с движением прямо при запрещении движения встречного направления (рис. 11);

2 Отдельная левоповоротная фаза, когда движение левоповоротных транспортных средств выполняется в отдельной фазе (рис. 12);

3 Запаздывающая левоповоротная фаза, когда движение левоповоротных

транспортных средств разрешено с движением прямо без запрещения движения встречного направления (рис. 13);

4 Комбинированный ввод запаздывающей и опережающей левоповоротной фазы (рис. 14).

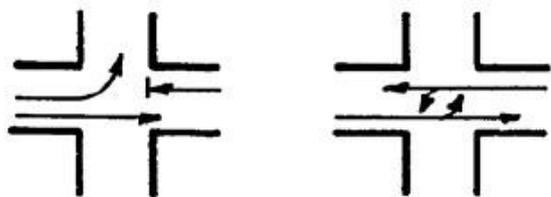


Рисунок 11 – Опережающая левоповоротная фаза

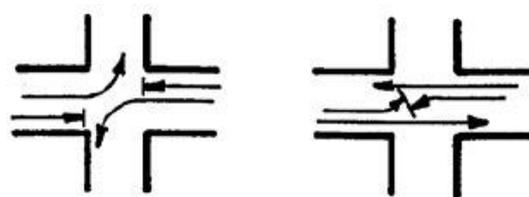


Рисунок 12 – Отдельная левоповоротная фаза

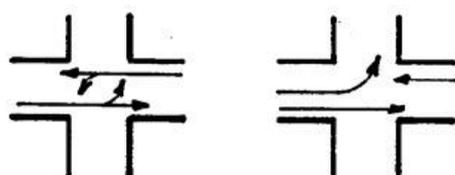


Рисунок 13 – Запаздывающая левоповоротная фаза

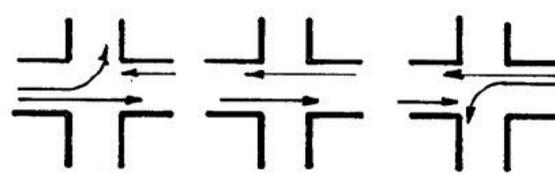


Рисунок 14 – Комбинированная левоповоротная фаза

В руководстве по проектированию регулируемых перекрестков [1], ввод левоповоротной фазы на объеме поворота (табл. 2).

Таблица 2 – Минимальный объем поворота для ввода левоповоротной фазы [1]

Поворотная полоса (специализированная фаза)	Минимальный объем поворота (ед. / ч)
Одна полоса	100
Две полосы	300

Кроме этого, руководством предусмотрено шесть возможных вариантов организации левого поворота при светофорном регулировании:

- 1 Специализированная полоса, без специализированной фазы;
- 2 Специализированная полоса со специализированной фазой;
- 3 Специализированная полоса со специализированной фазой в двух направлениях;
- 4 Объединенная полоса без специализированной фазы;
- 5 Объединенная полоса со специализированной фазой;
- 6 Объединенная полоса со специализированной фазой в двух направлениях.

Как было сказано ранее, в зарубежной практике расчет общего цикла

производится с использованием метода коэффициентов, которые позволяют определить степень влияния того или иного фактора, при использовании руководства [1] коэффициент определяющий влияние поворотных автомобилей будет определяться:

$$f_{mi} = \frac{1}{[1.0 + P_L(E_{L1} - 1)]}, \quad (5)$$

где P_L – доля левовращающих автомобилей в общей полосе движения; E_{L1} – эквивалент автомобиля для разрешенных левых поворотов (авт./ч/пол) (табл. 3).

Таблица 3 – Значение эквивалента автомобиля

Тип полосы	Эффективные противоположные потоки						
	100	200	400	600	800	1000	1200*
Общая	1.4	1.7	2.1	2.5	3.1	3.7	4.5
Специализированная	1.3	1.6	1.9	2.3	2.8	3.3	4.0

Согласно исследованиям, выполненным в департаменте транспорта Миннесоты в 2013 году [17], существует пять вариантов фаз с левым поворотом на пересечении: разрешающих поворот, запрещающих поворот, разрешающих и запрещающих поворот, разделяющих фазу и запрещающих. Выделение левоповоротной фазы может оказать существенное влияние на эффективность сигнальной системы по ряду причин, в том числе:

1 Разрешающая операция только влево-вправо может уменьшить задержку для пересечения, но может неблагоприятно повлиять на пересечение, потому что она требует, чтобы автомобилисты выбирали приемлемые пробелы для выполнения маневра.

2 Защищенные только фазы с левым поворотом могут уменьшить задержку для поворота транспортных средств, но, вероятно, увеличат общую задержку на пересечении.

3 Фазы с защищенным разрешающим левым поворотом могут обеспечить хороший компромисс между безопасностью и эффективностью, но могут ограничить доступные опции, чтобы максимизировать прогрессирование сигнала во время координации, если не используются инновационные дисплеи.

4 Сплит-фаза может быть применима к общим подходам, но может увеличить согласованную длину цикла, если обе фазы разделения обеспечивают параллельную фазу пешеходного движения.

5 Запрещенные левые повороты могут использоваться выборочно для уменьшения конфликтов на пересечении.

По результатам анализа научных источников, обобщим основные подходы к выбору оптимальной схемы проектирования левых поворотов (табл. 4).

Таблица 4 – Обобщенный анализ научных источников по вводу левоповоротной фазы

Наименование источника	Предлагаемые критерии ввода левоповоротной фазы
Поляков А.А. [7]	Ввод специализированной левоповоротной фазы
Владимиров В.А. [18]	Объезд квартала, запрет левых поворотов в зоне регулируемого перекрестка
Руководство по регулированию дорожного движения в городах [68]	Ввод специализированной поворотной фазы, без разрешения движения в других вазах
Цариков А.А. [5]	Семь принципов проектирования с уточнением расчетных параметров
W. McShane [14]	Ввод специализированной фазы в зависимости от спроса на поворотную полосу
Asante S.A. [15]	Восемь способ организации левого поворота
Robert L. [16]	Четыре варианта ввода левого поворота
HCM 2000 [1]	Шесть вариантов ввода левого поворота с уточнением расчетных параметров
TST 2013 [17]	Пять вариантов ввода левого поворота

Выводы

В ходе анализа зарубежных и отечественных источников было установлено, что существует множество подходов к выбору организации схемы дорожного движения на регулируемых участках [19]. Особое внимание в данном вопросе занимает ввод специализированной фазы для выполнения левого поворота, в основном данный выбор осуществляется инженером-проектировщиком, основываясь в основном на спросе на выполнение левого поворота, без анализа основных характеристик транспортного потока, а именно длины очереди, скорости движения и задержек транспортных средств. В связи с малой степенью проработки данного вопроса необходимым мероприятием является разработка научно-методических основ для ввода специализированной поворотной фазы с использованием основных параметров транспортных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Highway Capacity Manual // TRB, Washington, DC, – 2000. – 1134 p.
- 2 ГОСТ Р 52289-2019 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров,

дорожных ограждений и направляющих устройств : национальный стандарт РФ. – утв. 20 декабря 2019 г. – N 1425-ст.

3 ОДМ 218.6.003-2011. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах / РОСАВТОДОР. – М. : Федеральное дорожное агентство. М. : 2013. – 69 с.

4 Цариков, А. А. Пути повышения пропускной способности и безопасности движения поворотных маневров / А. А. Цариков // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2009. – № 3 (13). – С. 31-36.

5 Цариков, А. А. Развитие методов расчета регулируемых узлов на улично-дорожной сети / А. А. Цариков // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2009. – № 3-4. – С. 118-123.

6 Цариков, А. А. Развитие методов расчета регулируемых узлов на улично-дорожной сети города : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.01 / Цариков Алексей Алексеевич ; [Место защиты : Ур.гос. ун-т путей сообщ.]. – Екатеринбург, 2010. – 18 с.

7 Поляков, А. А. Городское движение и планировка улиц / А. А. Поляков. - М.-Л. ; Госстройиздат, 1953. – 251 с.

8 Поляков, А. А. Методика расчета потребной ширины проезжей части улиц на подходах к перекресткам / А. А. Поляков // Научные труды АКХ. – 1950. – Вып. Д.

9 Поляков, А. А. Организация движения на улицах и дорогах / А. А. Поляков. – М. : Транспорт, 1965. – 376 с.

10 Поляков А. А. Основы транспортных расчетов по развитию путей сообщения города : автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук / А. А. Поляков. – М., 1956. – 27 с.

11 Цариков, А. А. Совершенствование организации движения при выполнении левых поворотов [электронный ресурс] – URL : http://www.waksman.ru/Russian/Streets_net/2005/tsa.htm

12 Руководство по регулированию дорожного движения в городах. – М. : Стройиздат, 1974. – 97 с.

13 Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090 О Правилах дорожного движения» (вместе с Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по

обеспечению безопасности дорожного движения). – ред. от 23.12.2017 // ИПС КонсультантПлюс – Режим доступа : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709.

14 McShane, W. R., Ross, R. P. Traffic Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990, New Jersey.

15 Asante S. A., Ardekani S. A., Williams J. C. Selection Criteria for Left-Turn Phasing, Indication Sequence and Auxiliary Sign // HPR Research Report 1256-IF, University of Texas at Arlington, Arlington, TX, February 1993. – Pp. 105.

16 Robert L. Gordon, Warren Tighe P. E. Traffic Control Systems Handbook, FHWA-HOP-06-006. U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC. October 2005.

17 MnDOT Traffic Signal Timing and Coordination Manual May. – 2013. – pp. 305.

18 Владимиров, В. А. Инженерные основы организации дорожного движения / В. А. Владимиров, Г. Д. Загородников, Л. Н. Малов. – М. : Стройиздат, 1975. – 455 с.

19 Лихачев, Д. В. Анализ подходов к вводу специализированной левоповоротной полосы при использовании светофорного регулирования / С. В. Дорохин, Д. В. Лихачев // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 3 (66). – С. 43-50.