

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО
Иркутский Государственный Технический Университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор университета
по научной работе

_____ С. Н. Евстафьев

«__» _____ г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Организация дорожного движения на кольцевых
и нерегулируемых пересечениях

по теме:

Адаптация современных методик проектирования и
оценки эффективности нерегулируемых и кольцевых
пересечений к российским условиям движения

(Заключительный)

Зам. проректора
по научной работе, д.х.н.

_____ С. Н. Евстафьев
подпись, дата

Руководитель темы, к.т.н., доцент

_____ А. Г. Левашев
подпись, дата

Иркутск 2006

Реферат

Отчет 30 с., 1 ч., 8 рис., 3 табл., 21 источник.

ОРГАНИЗАЦИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА КОЛЬЦЕВЫХ И НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ

Объектом исследования являются современные методики проектирования и оценки эффективности нерегулируемых и кольцевых пересечений.

Цель работы — разработка методик оценки ключевых параметров, входящих в современные методики проектирования и оценки эффективности нерегулируемых и кольцевых пересечений.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования транспортных потоков на кольцевых пересечениях.

В результате исследования была разработана методика определения ключевых параметров транспортного потока на нерегулируемых и кольцевых пересечениях, позволяющая эффективное применение мировых достижений в данной области науки в России.

Степень внедрения — результаты, полученные в данном исследовании, представили собой базу для крупномасштабных исследований в области адаптации и совершенствования существующих методик проектирования и оценки эффективности нерегулируемых и кольцевых пересечений.

Эффективность полученной методики определяется низким уровнем трудозатрат при обработке экспериментальных данных в исследованиях, направленных на определение ключевых параметров транспортного потока на нерегулируемых и кольцевых пересечениях.

Содержание

Введение	4
Определения	5
1 Уровень обслуживания на нерегулируемых пересечениях	6
2 Основы процесса движения второстепенного потока	9
3 Методики проектирования нерегулируемых пересечений	14
4 Методы определения граничного интервала	18
5 Метод максимального правдоподобия (Maximum-Likelihood-Method).....	20
6 Проведение натурных обследований	22
7 Результаты исследования.....	24
Заключение	28
Список использованных источников.....	29

Введение

Уровня автомобилизации в городах нашей страны постоянно растет в связи с этим все чаще на дорогах можно увидеть очереди транспортных средств. Качественное проектирование элементов улично-дорожной сети (УДС) в настоящее время является особенно актуальным.

Одним из основных элементов УДС, влияющим на ее пропускную способность, является нерегулируемое пересечение. Частным случаем пересечения такого типа является кольцевое пересечение. Несмотря на то, что пропускная способность нерегулируемого пересечения во второстепенном направлении является значительно ниже пропускной способности, которую можно достигнуть при использовании светофорных объектов, применение нерегулируемых пересечений (где возможно) является более рациональным с экономической точки зрения. При этом очень важным является правильно рассчитать необходимые параметры пересечения.

В последние годы отечественными учеными нерегулируемым пересечениям было уделено значительно меньше внимания, чем светофорным объектам. Современное мировое состояние науки и практик в свою очередь основывается на постоянных исследованиях в этой области, модернизации существующих методик в области проектирования и оценки эффективности нерегулируемых и кольцевых пересечений.

Очевидно, что применение современных мировых достижений в России невозможно без их адаптации. Данное исследование направлено на разработку и освоение методов расчетов ключевых параметров транспортного потока на нерегулируемых и кольцевых пересечениях, что позволит более эффективно применять методики проектирования и оценки эффективности пересечений данного типа в российских условиях движения. Разработанные методики позволят провести значительный ряд исследований, что даст возможность не только адаптировать существующие мировые достижения, но и позволит внести определенные изменения в теоретические знания.

Определения

Интервал следования – средний временной интервал между транспортными средствами, разъезжающимися в очереди после первого транспортного средства (во второстепенном направлении).

Граничный интервал – временной интервал, необходимый и достаточный первому стоящему в очереди транспортному средству (во второстепенном направлении) для въезда на перекресток.

Принятый интервал – временной интервал, который для определенного водителя был достаточным для въезда на перекресток (во второстепенном направлении).

Отклоненный интервал – временной интервал, который для определенного водителя был недостаточным для въезда на перекресток (во второстепенном направлении).

Максимальный отклоненный интервал – временной интервал, который является максимальным из интервалов, отклоненных определенным водителем (во второстепенном направлении).

Базовая пропускная способность – пропускная способность второстепенного направления, которому противопоставлен лишь один транспортный поток.

Действительная пропускная способность – пропускная способность второстепенного направления, учитывающая влияние всех противопоставленных рассматриваемому транспортным и пешеходных потоков.

Резервная пропускная способность – Разница между действительной пропускной способностью и интенсивностью прибытия транспортных средств к подходу на перекрестке во второстепенном направлении.

1 Уровень обслуживания на нерегулируемых пересечениях

С точки зрения проектирования элементов улично-дорожной сети (УДС) пересечения являются наиболее важной составляющей. Именно на пересечениях встречается максимальная суммарная интенсивность движения транспортных средств, и, следовательно, они решающе влияют на уровень обслуживания дорожного движения (*LOS-Level of Service*). В целом пропускная способность УДС зависит от пропускной способности ее так называемых «узких мест»:

1. сужение проезжей части;
2. регулируемое пересечение (светофорный объект);
3. нерегулируемое пересечение;
4. какие-либо помехи, в результате возникновения которых образуются временные участки «узких мест» (например, остановочный пункт, место дорожно-транспортного происшествия, и др.).

Говоря о нерегулируемых пересечениях, основное влияние на пропускную способность пересечения такого типа оказывает его геометрия. Учитывая наличие высоких интенсивностей транспортных потоков на пересечениях, обеспечение и поддержание безопасности дорожного движения на пересечениях становится все более важным. При этом безопасность движения на пересечениях по важности стоит на первом месте после пропускной способности и рентабельности обустройства пересечения. Безопасность движения в свою очередь связано с уровнем обслуживания движения на пересечении. В качестве критерия, характеризующего уровень обслуживания движения на нерегулируемых пересечениях, принимается средняя задержка на одно транспортное средство, которую испытывают автомобили при движении через перекресток. В таблице 1 представлена используемая в Германии классификация уровней обслуживания на нерегулируемых пересечениях и соответствующие значения средних задержек для каждого уровня [9].

Рассмотрим подробнее ситуации, при которых достигается каждый из уровней обслуживания движения:

- **Уровень А** – Большая часть водителей беспрепятственно проезжают через перекресток. Задержка очень мала.
- **Уровень В** – Влияние потоков в главном направлении на возможность движения второстепенных потоков становится заметным. Задержка при этом все еще остается незначительной.
- **Уровень С** – Водители во второстепенном потоке вынуждены пропускать большое число транспортных средств, движущихся в главном направлении. Задержка значительно возрастает. На подходе к пересечению начинает образовываться очередь транспортных средств, которая все же ни сточки зрения занимаемого пространства и периода времени ее существования не представляет серьезной проблемы.
- **Уровень D** – Большая часть водителей, проезжая подход к перекрестку, вынуждена совершать относительно длительные остановки более одного раза. Некоторые транспортные средства испытывают большие задержки. Но, несмотря на большие длины очереди, они все же рассасываются и ситуация все еще остается стабильной.
- **Уровень E** – Образуется очередь, которая при постоянной транспортной ситуации не в состоянии уменьшаться. Транспортные средства испытывают большие задержки. Незначительное изменение транспортной ситуации может привести к образованию затора. Пропускная способность перекрестка (подхода к перекрестку) исчерпана.
- **Уровень F** – Интенсивность прибытия транспортных средств к подходу на нерегулируемом перекрестке в течение значительного времени превышает пропускную способность подхода. Образуется очень длинная и постоянно увеличивающаяся очередь транспортных средств. Значения задержек при этом очень велики. Ситуация может быть разрешена лишь при значительном снижении интенсивности прибытия транспортных средств. Перекресток считается перезагруженным (перенасыщение потоков).

Таблица 1

Уровни качества обслуживания и соответствующие значения задержек,
используемые в Германии

Уровень обслуживания движения (LOS)	Средняя задержка, с
A	≤ 10
B	≤ 20
C	≤ 30
D	≤ 45
E	> 45
F	- ¹⁾

Примечание: 1) Уровень F имеет место лишь при уровне загрузки более 1.

В области исследований процессов движения транспортных средств на нерегулируемых пересечениях разными авторами было выполнено множество работ. Основоположниками при этом можно считать таких авторов, как Grabe [6], Harders [10], и Siegloch [17]. Позднее были исследования, которые провели Brilon [3] и Grossman [8]. Hardes на основе исследований, которые выполнил Grabe, разработал достаточно полную процедуру определения пропускной способности нерегулируемых пересечений, которая наибольшим образом отражала действительность. Siegloch подверг критическому рассмотрению работу, которую выполнил Harders. Но несмотря на то, что он расширил и усовершенствовал процедуру расчета пропускной способности (сделал ее более простой в использовании), он подтвердил теорию, которую развил Harders. В [16] представлено более детальное сравнение моделей, которые получили Siegloch и Harders.

Вопрос о пропускной способности нерегулируемых пересечений имеет особое значение при развитии проекта организации дорожного движения и при принятии решения о введении светофорного объекта на рассматриваемом пересечении.

Ниже будет подробнее рассмотрен процесс разъезда транспортных средств на нерегулируемом пересечении.

2 Основы процесса движения второстепенного потока

Находясь на подходе к перекрестку и двигаясь во второстепенном направлении, водитель принимает решение въехать на нерегулируемый перекресток, которое зависит от величины временного интервала между двумя следующими друг за другом транспортными средствами в главном направлении (Рисунок 1). Если водитель считает один из таких интервалов приемлемым, он начинает движение. Если же ему интервал покажется слишком маленьким, – он будет ждать. В случае же, если водитель ожидает слишком долгое время, то вполне может оказаться так, что в итоге за приемлемый он посчитает интервал, который будет меньше, чем один из тех, которые он уже пропустил. Тем не менее, всегда будет иметь место необходимое минимальное значение интервала, при котором водитель сможет начать движения не рискуя.

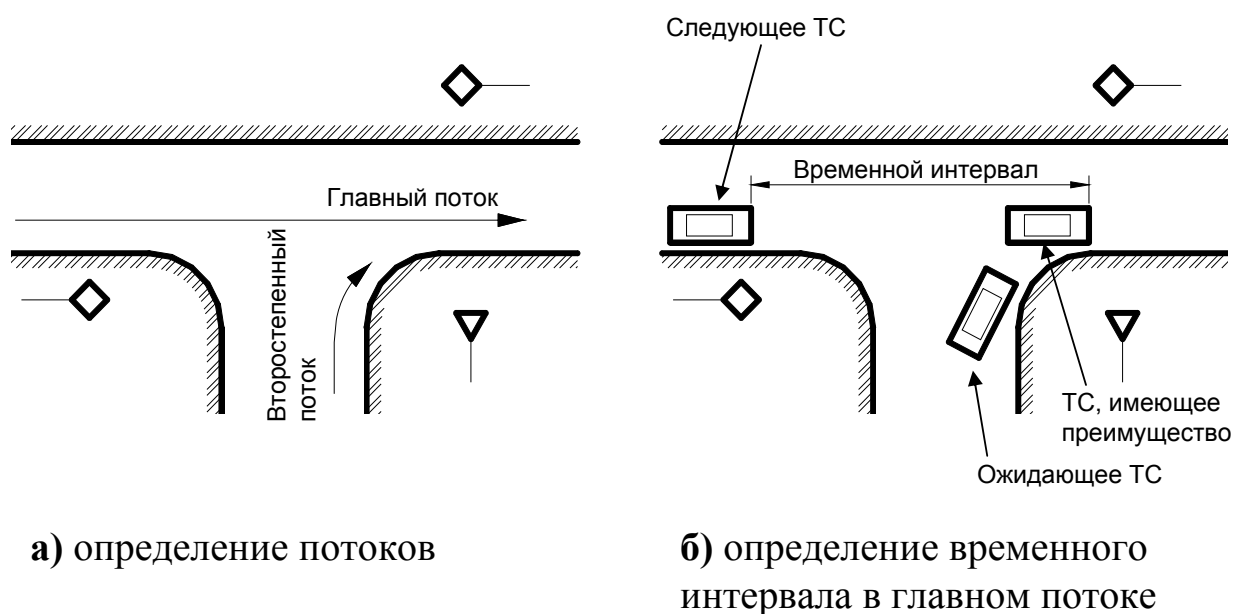


Рисунок 1 – Процесс въезда транспортного средства на перекресток из второстепенного потока

Временной интервал, который необходим водителю, чтобы начать движение во второстепенном направлении, называется граничным интервалом. Классическое определение граничного интервала сформулировали Greenshields [7] и Raff [15]. При этом они исследовали не пропускную способность нерегулируемых пересечений, а лишь интервалы, для которых первый водитель в очереди решается на движение. Статистическая оценка исследуемых интервалов заключалась в том, что сначала все интервалы были разделены на интервалы, принятые водителями для движения (+), и интервалы, отклоненные водителями (+). Затем определялось вероятностное распределение для принятых H^+ и отклоненных H^- интервалов.

Greenshields определил граничный интервал t_G как интервал, который половиной водителей был принят и половиной отклонен. Его можно определить по медиане распределения, образованного следующим образом:

$$h^+ = \frac{H^+}{H^+ + H^-} \quad (1)$$

где H^+ – функция распределения принятых интервалов;

H^- – функция распределения отклоненных интервалов;

h^+ – функция распределения граничных интервалов.

Величина граничного интервала определяется по значению 0,5 распределения h^+ . Распределение показывает вероятность, с которой водителями может быть принят временной интервал меньше и равный соответствующему значению (Рисунок 2, а).

Raff определил граничный интервал, как интервал, для которого число временных интервалов меньше граничного интервала, которые были отклонены водителями, равно числу принятых интервалов, больших, чем граничный интервал. При этом граничный интервал определяется точкой пересечения прямой (для принятых интервалов) и обратной (для отклоненных интервалов) кумулятивных кривых (Рисунок 2, б).

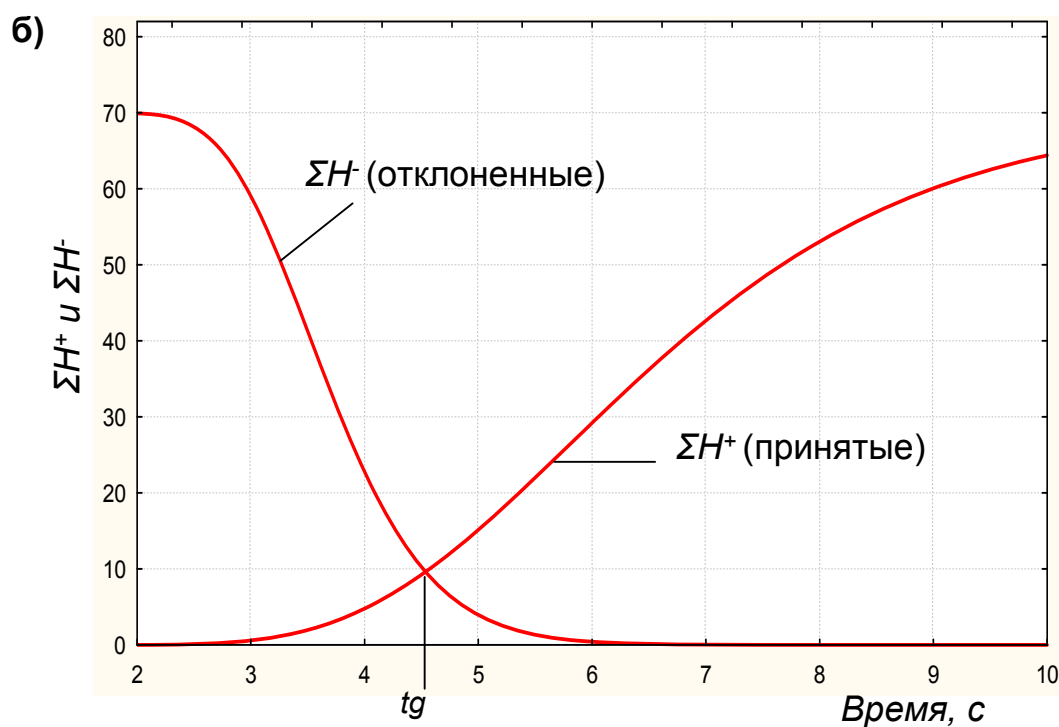
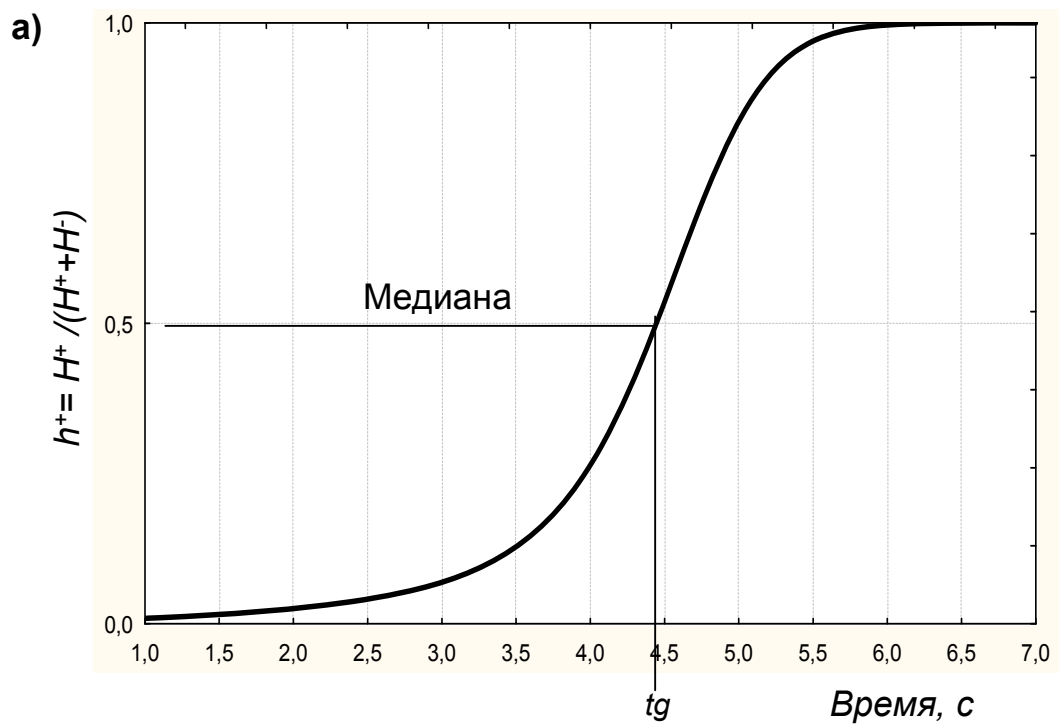


Рисунок 2 – Определение граничных интервалов по методикам, которые разработали Greenshields (а) и Raff (б)

Следует отметить, что при проведении обследований, направленных на определение ключевых параметров, описывающих движение транспортных потоков на нерегулируемых пересечениях, необходимо помнить следующее:

1. На второстепенном подходе в течение исследуемого периода всегда должна быть очередь, состоящая как минимум из 5 – 6 транспортных средств.
2. При измерении принятых водителями второстепенного направления временных интервалов между транспортными средствами в главном направлении должны учитываться лишь действительно принятые интервалы. Отклоненные интервалы в данном случае не учитываются.
3. Число обследований (измерений) должно быть достаточным для обеспечения статистической значимости предполагаемых результатов.

В случае, когда величина интервала между транспортными средствами в главном направлении является значительно больше граничного интервала, после первого транспортного средства во второстепенном направлении начинают движение и другие транспортные средства с определенным временным интервалом, определенно меньшим, чем граничный интервал. Таким интервалом называется интервал следования, который главным образом зависит от наличия у водителей возможности свободно ориентироваться (видимость). Практика показала, что величина интервала следования представляет собой приблизительно постоянную величину. В этом случае закон движения второстепенного потока на нерегулируемом пересечении можно описать как (Рисунок 3):

$$n = \frac{t - t_g}{t_f} + 1, \quad (2)$$

где n – число транспортных средств, которые успевают проехать во второстепенном направлении при величине временного интервала между транспортными средствами в главном направлении равной t ;

t_g – граничный интервал;

t_f – интервал следования.

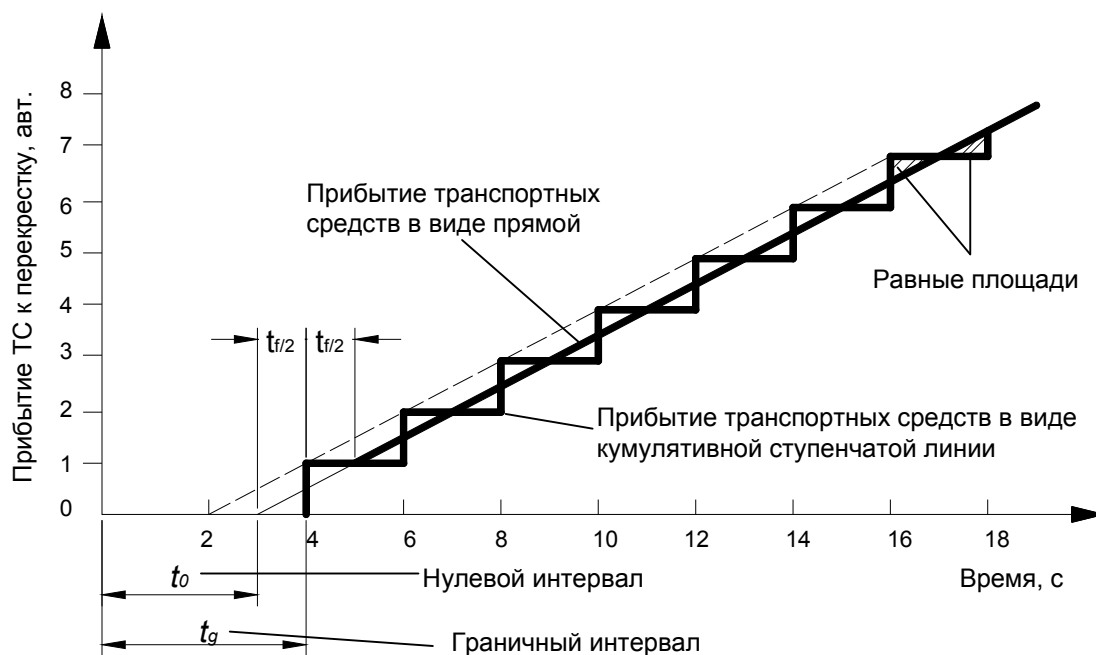


Рисунок 3 – Закон движения второстепенного потока на нерегулируемом пересечении

Поскольку на перекресток въехать может лишь целое число транспортных средств, число n всегда должно округляться. В результате процесс разъезда транспортных средств на нерегулируемом пересечении можно представить в виде ступенчатой кумулятивной кривой (Рисунок 3). Минимальный интервал, который необходимо для въезда на перекресток первому транспортному средству и представляет собой граничный интервал. Минимальный интервал, необходимый для разъезда n транспортных средств можно при этом определить с помощью преобразования формулы (2):

$$t = t_g + (n - 1)t_f . \quad (3)$$

Процесс разъезда также можно представить в виде прямой линии (см. Рисунок 3). При этом для полного учета последнего из n транспортного средства необходимо к интервалу, полученному по формуле (3) добавить $t_f/2$:

$$t = t_g + (n-1)t_f + \frac{t_f}{2}$$

или

$$t = nt_f + t_g - \frac{t_f}{2}. \quad (4)$$

Угол наклона прямой, представленной на Рисунке 3, зависит от величины интервала следования. Пересечение этой прямой с осью времени определяет временной интервал $t_0 = t_g - t_f/2$, который Sieglösch называет начальным (нулевым) интервалом. Заменяя t_0 на t_g в формуле (4), получим следующее:

$$n = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq t_0 \\ \frac{t - t_0}{t_f} & \text{при } t > t_0. \end{cases} \quad (5)$$

3 Методики проектирования нерегулируемых пересечений

Методики проектирования нерегулируемых пересечений в целом основаны на применении теории вероятностей. Уже на протяжении многих лет они совершенствуются и обновляются. Последние руководства представляют методики расчетов, включающие в себя множество различных транспортных ситуаций. При этом следует отметить серьезный вклад немецких исследователей в разработку методик для нерегулируемых и в частности для кольцевых пересечений. Например, американские методики расчетов для нерегулируемых пересечений основаны на разработках немецких специалистов. Также американские специалисты подчеркивают отсутствие такого же богатого опыта в области исследований кольцевых пересечений, которым владеют немецкие ученые [13].

Кольцевые пересечения с точки зрения техники разработки формул для оценки пропускной способности пересечений такого типа являются частным случаем нере-

гулируемых пересечений. Это легко можно увидеть при рассмотрении одного из подходов к обустройству кольцевого движения (Рисунок 4).

Рассмотрим более подробно основу методики, используемой, например, американскими учеными. На Рисунке 5 представлена блок-схема, отражающая последовательность действий при проектировании нерегулируемого пересечения.

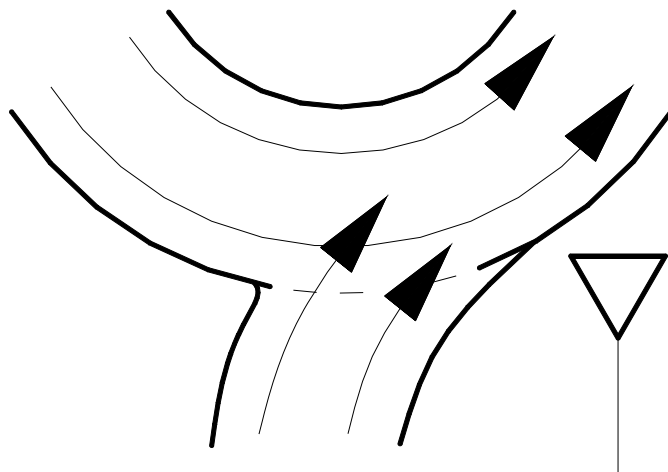


Рисунок 4 – Анализ подхода к обустройству кольцевого движения

Первым этапом проектирования (оценки эффективности) является сбор имеющейся информации о геометрии, существующих или прогнозируемых интенсивностях движения пешеходных и транспортных потоков с учетом доли грузовых транспортных средств в потоке. Также собирается информация о светофорных объектах, расположенных рядом с рассматриваемым нерегулируемым пересечением, которые могут оказывать на него влияние. Здесь следует подчеркнуть, что процедура учета влияния светофорных объектов на рассматриваемое пересечение используется лишь в американской методике. Немецкая методика не включает в себя такой процедуры. Это может быть обосновано тем, что, по мнению немецких специалистов, светофорные объекты оказывают лишь незначительное влияние на рассматриваемое нерегулируемое пересечение. Применение такой процедуры лишь усложняет расчеты.

Следующим этапом является определение типов конфликтных потоков, для которых в дальнейшем будут определяться базовые и действительные значения пропускной способности по соответствующим формулам и с использованием соответствующих процедур. Тип конфликтного потока зависит от того, сколько приоритет-

ных потоков по отношению к рассматриваемому необходимо пересекать. Чем больше таких приоритетных потоков, тем меньше пропускная способность в рассматриваемом второстепенном направлении. Также здесь необходимо определить граничные интервалы и интервалы следования для каждого из типов конфликтных потоков (направлений).



Рисунок 5 – Методология проектирования нерегулируемых пересечений [13]

Следующий этап представляет собой расчет базовой пропускной способности для каждого из направлений. Под базовой понимается пропускная способность такого второстепенного потока, которому приходится пересекать лишь один приоритетный поток. Так, например, в современной германской методике для определения базовой пропускной способности применяется следующая формула:

$$G_i = \frac{3600}{t_f} e^{-\frac{q_p}{3600} \left(t_g - \frac{t_f}{2} \right)}, \quad (6)$$

где G_i – базовая пропускная способность второстепенного потока i , прив.ед/ч;

q_p – расчетная интенсивность приоритетного направления, авт/ч;

t_g – средний граничный интервал, с;

t_f – средний интервал следования, с.

Формула (6) расчета базовой пропускной способности основана на теории вероятности и зависит интенсивности движения, граничного интервала и интервала следования. Очевидно, что для применения такой формулы при проведении расчетов на разных перекрестках необходимо предварительно определить значения расчетных временных интервалов (интервал следования и граничный интервал).

После того, как была получена базовая пропускная способность необходимо базовые условия привести к действительным. Здесь применяются дополнительные процедуры, учитывающие тип второстепенного направления. Учитывается особенность движения двух направлений по одной смешанной полосе движения, влияние расположенные вблизи СО на рассматриваемый перекресток, случаи с идущими друг за другом двумя нерегулируемыми пересечениями, когда получившееся сложное пересечение преодолевается в два этапа. Также учитывается влияние на пропускную способность уширения проезжей части на подходе к пересечению.

Последними этапами, которые относятся к оценке уровня обслуживания, являются расчет задержек, длин очередей, и соответствующих уровней обслуживания.

Данная статья представляет собой результаты исследования, целью которого была оценка возможности адаптации современных методик проектирования нерегулируемых пересечений и пересечений кольцевого типа и оценки уровня обслуживания движения на них к российским условиям движения. В процессе изучения истории развития и настоящего состояния существующих методик проектирования и оценки эффективности нерегулируемых и кольцевых пересечений было установлено, что в целом большая часть процедур основана на теории вероятности, что говорит об их универсальности. При этом основными, хотя и не единственными, параметрами, требующими уточнения, как раз являются интервал следования и граничный интервал. В связи с этим данное исследование также было сконцентрировано на изучении методов определения таких параметров.

4 Методы определения граничного интервала

Как уже было упомянуто выше, интервал следования представляет в среднем постоянную величину. Для определения такого интервала достаточно собрать достаточный для статистической значимости материал, состоящий из замеров временных интервалов между автомобилями, начиная со второго транспортного средства в очереди. Более сложной является процедура определения граничного интервала.

Как было затронуто выше, основоположниками в области определения таких интервалов были Greenshields [7] и Raff [15]. В последствии были развиты другие методики, основанные на разных подходах. Например, Harders использовал уравнение (3) для регрессионного анализа, при этом входными параметрами использовались пары значений «время-количество автомобилей», успевших проехать за рассматриваемый период времени.

Также были разработаны методики и другими авторами, которые основывались, например, также на регрессионном анализе или даже на Probit-анализе, берущем свое начало из теории транспортного планирования.

Brilon, Koenig, Troutbeck провели исследование по сравнению наиболее распространенных методик определения граничного интервала и интервала следования [4]. Они рассмотрели работы таких авторов, как:

- Raff, Hart [15];
- Harders [10, 11];
- Siegloch [17];
- Hewitt (Probit-анализ) [12];
- Troutbeck (Maximum-Likelihood-Method – Метод, основанные на максимальном правдоподобии) [20];
- Ashworth [1, 2];
- Logit-модель (из теории транспортного планирования) [5, 14, 19].

В результате данного исследования, основанного на микромоделировании транспортных потоков, было установлено, что наиболее лучшие результаты дают методики, которые разработали Hewitt, Troutbeck, и Siegloch. При этом методика, которую разработал Hewitt, является достаточно сложной с точки зрения практического применения, кроме того, она не достаточно хорошо описана в литературе. Методика, которую разработал Siegloch, была единственной из так называемых регрессионных методов оценки, которая больше всего соответствовала действительности. Но такая методика требует наличия достаточной постоянной очереди на перекрестке во второстепенном направлении и ей сопутствуют большие трудозатраты.

Таки образом, исследователи сделали вывод, что наиболее рациональной методикой с точки зрения трудозатрат и с точки зрения точности оказалась методика, которую разработал Troutbeck, и которая основана на методе максимального правдоподобия (Maximum-Likelihood-Method). Рассмотрим ее более подробно.

5 Метод максимального правдоподобия (Maximum-Likelihood-Method)

Методика определения граничных интервалов на основе метода максимального правдоподобия основана на определении вероятности, с которой граничный интервал определенного транспортного средства попадает в диапазон между a_i (принятый интервал) и r_i (отклоненный интервал). Эта вероятность определяется как разница вероятностей $F(a_i) - F(r_i)$. При этом r_i – это наибольший из отклоненных одним транспортным средством интервалов. Для всех рассмотренных транспортных средств, которыми минимум один временной интервал был отклонен, определяется функция вероятности, как:

$$L^* = \prod_{i=1}^n [F(a_i) - F(r_i)], \quad (7)$$

где L^* – функция вероятности;

$F(x)$ – функция распределения x ;

a_i – интервал, принятый i -ым транспортным средством;

r_i – максимальный интервал, отклоненный i -ым транспортным средством;

n – количество рассмотренных транспортных средств;

i – порядковый номер транспортного средства.

Логарифм L от этой функции определяется как:

$$L = \sum_{i=1}^n \ln[F(a_i) - F(r_i)]. \quad (8)$$

Логарифмическое преобразование подтверждает, что L и L^* для одних и тех же параметров μ и σ достигнут максимума лишь в случае, если логарифмическая функция будет постоянно возрастающей. Значения параметров μ и σ рассмотренного логнормального распределения, которые соответствуют максимуму L , можно определить, используя следующие уравнения:

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{\partial F(a_i)}{\partial \mu} - \frac{\partial F(r_i)}{\partial \mu}}{F(a_i) - F(r_i)} = \sum_{i=1}^n \frac{f(a_i) - f(r_i)}{F(a_i) - F(r_i)} = 0 \quad (9)$$

и

$$\frac{\partial L}{\partial \sigma^2} = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{\partial F(a_i)}{\partial \sigma^2} - \frac{\partial F(r_i)}{\partial \sigma^2}}{F(a_i) - F(r_i)} = \sum_{i=1}^n \frac{(a_i - \bar{\mu})f(a_i) - (r_i - \bar{\mu})f(r_i)}{F(a_i) - F(r_i)} = 0, \quad (10)$$

где

$$\frac{\partial F(r_i)}{\partial \mu} = -f(r_i) \text{ и } \frac{\partial F(r_i)}{\partial \sigma^2} = -\frac{x - \mu}{2\sigma^2} f(r_i).$$

Для решения такой системы равенств Troutbeck предложил для определения параметра μ задавать какое-либо значение параметра σ^2 . И, наоборот, для определения параметра σ^2 задавать какое-либо значение параметра μ . Итерации необходимо продолжать до момента, когда оценки параметров будут варьироваться незначительно. Такую процедуру легко можно осуществить с помощью модуля «Поиск решения» в MS-Excel. Значение математического ожидания m и среднеквадратического отклонения s^2 распределения граничных интервалов можно определить, как:

$$m = e^{\mu + 0,5\sigma^2} \quad (11)$$

и

$$s^2 = m^2(e^{\sigma^2} - 1). \quad (12)$$

Для расчета граничных интервалов необходимо выбрать для каждого рассмотренного транспортного средства соответственно пары значений самого большого отклоненного интервала и принятого интервала. Транспортные средства, которыми не было отклонено ни одного интервала, в данном случае не учитываются [21]. Следует отметить, что не рассматриваются и те пары значений, для которых величина принятого интервала меньше величины отклоненного. Функцию распределения всех наибольших отклоненных интервалов, а также функцию распределения принятых

интервалов необходимо сопоставить друг с другом для каждого рассматриваемого нерегулируемого пересечения. Затем методом, который был описан выше, определяются параметры логнормального распределения. Математическое ожидание данного распределения и будет граничный интервал.

6 Проведение натуральных обследований

Для проверки методики определения граничного интервала с помощью метода максимального правдоподобия было рассмотрено два кольцевых пересечения в г. Иркутск (Рисунок 6).



Рисунок 6 – Проведение натуральных обследований на кольцевых пересечениях (г. Иркутск)

Натурные обследования проводились с помощью видеокамеры. При этом было важно определить такую линию, при прохождении которой будет фиксироваться то или иное событие (например, момент времени прохождения этой линии транспортным средством, движущимся в главном направлении). Пример определения такой линии показан на Рисунке 7.



Рисунок 7 – Определение линии (сечения) по которой будут определяться моменты совершения обследуемых событий (например, прохождение переднего бампера транспортного средства над данной линией)

Для упрощения обработки видеоматериала был разработан программный модуль на базе MS-Access, позволяющий быстро фиксировать все временные интервалы (принятые и отклоненные). После обработки программа подготавливала для каждого транспортного средства пары значений принятого и максимального отклоненного интервалов. Дальнейшая обработка двух полученных столбцов осуществлялась в программах Statistica и MS-Excel.

7 Результаты исследования

Результаты оценки граничных интервалов, полученных по методике с применением метода максимального правдоподобия представлены в таблице 2 в сравнении со значениями, полученными по методикам, которые предложили Greenshilds и Raff.

Таблица 2

Результаты оценки значений граничных интервалов и интервалов следования на кольцевых пересечениях в г. Иркутск с использованием различных методик в сравнении со значениями, представленными в немецком нормативном руководстве

Исследуемый параметр, с	По методике, которую разработал Greenshilds	По методике, которую разработал Raff	По методике с использованием метода максимального правдоподобия (Maximum-Likelihood Method)	HBS 2001
Кольцевое пересечение в районе ул. Рабочего штаба				
Граничный интервал, t_g	3,553	3,55315	3,693	4,1
Интервал следования, t_f	-	-	2,062	2,9
Кольцевое пересечение в районе ул. Байкальская				
Граничный интервал, t_g	3,556	3,5565	3,469	4,1
Интервал следования, t_f	-	-	2,485	2,9

Также в таблице 2 представлены значения интервалов следования, полученные для каждого из пересечений в сравнение со значением, представленным в немецком руководстве HBS 2001 [9]. Результаты оценки граничных интервалов с использованием метода максимального правдоподобия также представлены на Рисунке 8.

Анализируя представленные результаты, можно сделать следующие выводы.

1. Значения граничных интервалов, полученные по методикам, которые разработали Greenshilds и Raff почти совпадают.

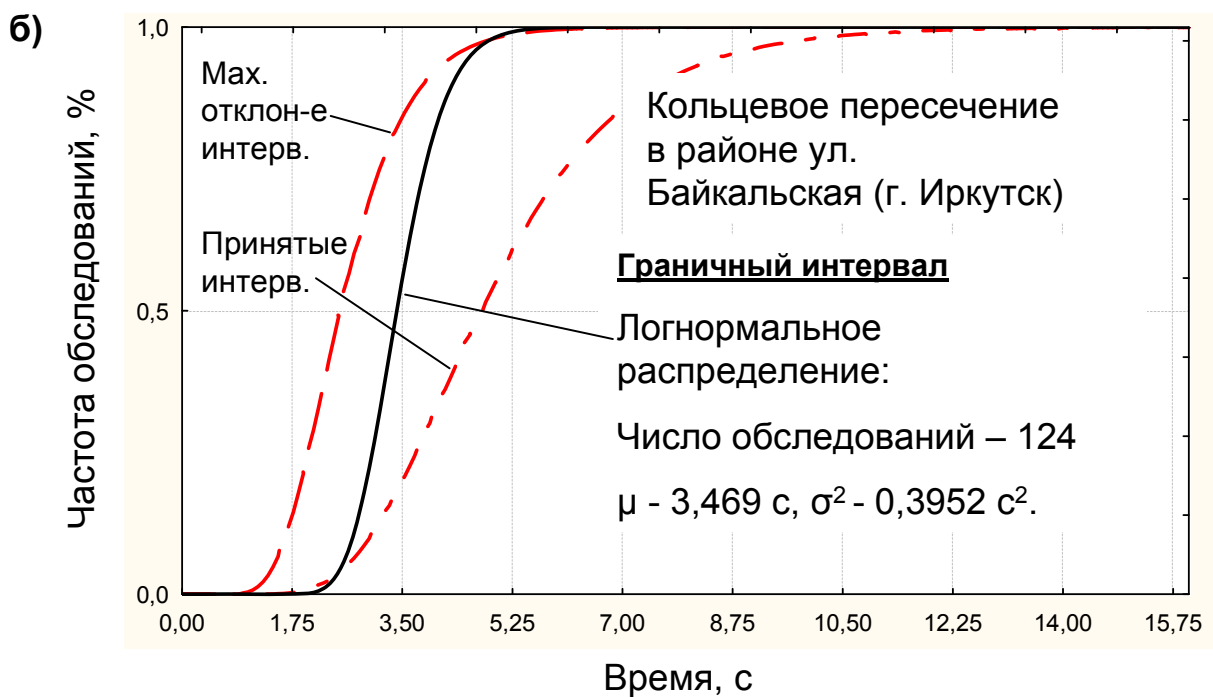
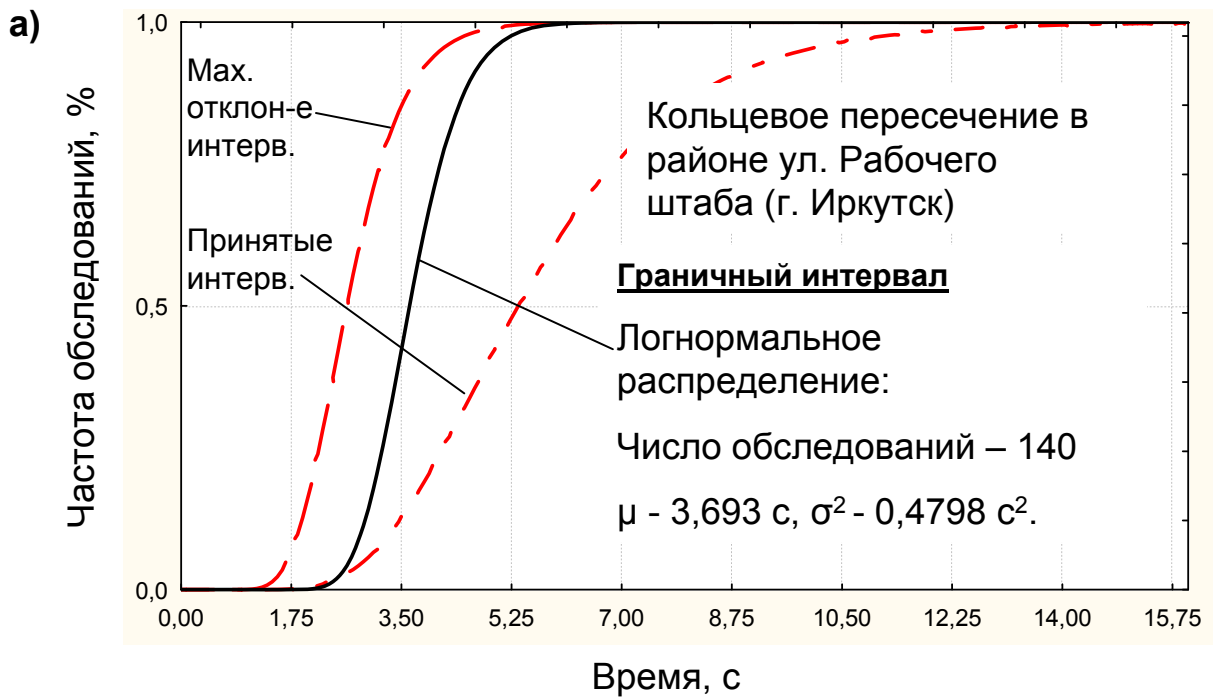


Рисунок 8 – Результаты оценки граничных интервалов для рассмотренных кольцевых пересечений в г. Иркутск с использованием метода максимального правдоподобия

- Полученные по этим методика значения отличаются от значений, полученных с применением метода максимального правдоподобия. Например, на пересечении в районе ул. Рабочего штаба значения, полученные по методике, кото-

рую предложил Raff, и по методике с применением метода максимального правдоподобия соответственно равны 3,553 и 3,693 или 3,55 и 3,7 (с). Следует отметить, что даже такое относительно незначительное отличие граничного интервала для рассматриваемого подхода к пересечению может привести к переоценке (недооценке) пропускной способности на 55 – 65 (прив.ед/ч).

3. Значения граничного интервала и интервала следования, представленные в HBS 2001, являются значительно выше значений, полученных в результате данного исследования. Это объясняется тем, что в качестве примера в данном исследовании были рассмотрены крупные пересечения с нестандартной геометрией. Уширение проезжей части на подходах позволяло некоторым водителям более быстро въезжать в кольцевой поток. С другой стороны, отличие полученных значений от значений по HBS 2001 также можно объяснить такими факторами, как отсутствие разметки и особенность поведения водителей, характерная для данного региона (страны).

Очевидно, что меньшие значения интервала следования и граничного интервала должны привести к более высоким значениям пропускной способности второстепенного направления. В данном примере была использована формула оценки пропускной способности, представленная в HBS 2001:

$$G = 3600 \left(1 - \frac{t_{\min} q_k}{n_k 3600} \right)^{n_k} \frac{n_z}{t_f} e^{-\frac{q_k}{3600} \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{\min} \right)}, \quad (13)$$

где G – базовая пропускная способность второстепенного направления, которая приводится к действительным условиям за счет коэффициента, учитывающего влияние пешеходных потоков (в данном примере базовая пропускная способность равнялась действительной), прив.ед/час;

q_k – интенсивность движения на кольце, прив.ед/час;

n_k – число полос движения на кольце;

n_z – число полос движения на подходе;

t_g – граничный интервал, с;

t_f – интервал следования, с;

t_{min} – минимальный временной интервал в потоке, движущемся по кольцу, с.

Значения минимального временного интервала в потоке на кольце, t_{min} , представленное в HBS 2001 и полученное в данном исследовании соответственно равны 2,1 и 1,6 (с).

Таблица 3

Расчет пропускной способности для пересечения в районе ул. Рабочего штаба (г. Иркутск) с использованием различных значений граничного интервала и интервала следования

Параметр	Расчет по результатам исследования	Расчет по данным HBS 2001
q_k	1819	1819
n_k	2	2
n_z	2	2
t_g	3,5	4,1
t_f	2,5	2,9
t_{min}	1,6	2,1
G	736	414
q_z – интенсивность на подходе	671	671
R – резервная пропускная способность	$736 - 671 = 65$	$414 - 671 < 0$

Из таблицы 3 видно, что для случая, когда за расчетные параметры берутся параметры по HBS 2001, пропускная способность является недостаточной, что соответствует постоянно растущей очереди на подходе к перекрестку. При использовании значений, полученных в данном исследовании, пропускная способность немного превышает интенсивность прибытия транспортных средств на подходе к пересечению. При этом предполагаемое среднее значение очереди составляет при этом 5 автомобилей на полосе. Фактически же при проведении обследований в среднем

наблюдалась очередь лишь 2 – 3 автомобиля. Это обуславливается тем, что некоторые автомобили испытывали меньшие задержки и могли более быстро влиться в кольцевой поток из-за уширенной проезжей части на подходе.

Заключение

Как уже было упомянуто выше, целью данного исследования являлась оценка возможности адаптации современных методик проектирования нерегулируемых и кольцевых пересечений и оценки уровня обслуживания движения на них к российским условиям движения. В результате исследования было установлено, что на первом этапе, который, безусловно, позволил бы использовать существующие мировые достижения в данной области науки, необходимо провести уточнение таких параметров, как граничные интервалы и интервалы следования. Для этого была разработана методика определения таких параметров, которая основывается на методе с использованием метода максимального правдоподобия, ранее использованном немецкими учеными. Методика была применена на примере двух кольцевых пересечений (г. Иркутск). Несмотря на значительное отличие полученных результатов от уже существующих результатов других стран, было показано, что полученные значения соответствуют действительности. Таким образом, была подтверждена адекватность предложенной методики.

В данном исследовании был представлен пример лишь двух кольцевых пересечений. Было показано, что определенному поведению водителей, которое характерно определенному региону, а также зависит от качества обустройства дорожного сооружения (кольцевого пересечения), соответствуют значения временных параметров, значительно отличающиеся от значений, полученных немецкими учеными. Это говорит о том, что для более полного представления того, как уширение проезжей части или длина участка ветвления потоков на кольце или как другие местно-характерные условия движения влияют на пропускную способность второстепенного направления, необходимо провести значительный ряд исследований на различных кольцевых и нерегулируемых пересечениях с различными транспортными си-

туациями. Такие исследования будут вторым этапом адаптации существующих методик к российским условиям движения. Это позволит не только систематизировать знания о пересечениях такого типа, но и даст возможность ученым определенным образом скорректировать существующие теоретические знания в сторону российских условий движения.

Список использованных источников

1. Ashworth R. A note on the selection of gap acceptance criteria for traffic simulation studies / *Transportation Science* Vol. 2, 1968, pp. 171 – 175
2. Ashworth R. The analysis and interpretation of gap acceptance data / *Transportation Science* Vol. 4, 1970, pp. 270 – 280
3. Brilon, W.: Weiterentwicklung der Berechnungsverfahren für Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlagen in der Bundesrepublik Deutschland. In: Internationalen Workshop Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlagen / *Tagungsunterlagen*, Bochum März 1988
4. Brilon W., Koenig R., Troutbeck R.J. Useful Estimation Procedures for Critical Gaps / *Proc. of the third international Symposium on Intersections Without Traffic Signals*. Portland, Oregon, U.S.A., 1997, pp. 71 - 87
5. Cassidy M.J., Madanat S.M., Wang M.H., Yang F. Unsignalized intersection Capacity and Level of Service: Revisiting Critical Gap *Transportation Research Board*, 74th Annual Meeting, Washington D.C., 1995
6. Grabe W. Leistungsermittlung von nicht lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten des Straßenverkehrs / *Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen*. Neue Folge. Heft 11. Kirschbaum Verlag, Bielfeld, 1954
7. Greenshields B.D., Shapiro D., Ericksen E.L. Traffic Performance at Urban Street Intersections. Technical Report No. 1, Yale Bureau of Highway Traffic, 1947
8. Grossmann M. Methoden zur Berechnung und Beurteilung von Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen / *Schriftenreihe Lehrstuhl für Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum*, Heft 9, 1991 b

9. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2001). – Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, Koeln, Januar 2002.
10. Harders J. Grenz- und Folgezeitlücken als Grundlage für die Berechnung der Leistungsfähigkeit von Landstrassen / Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 216. Hrsg.: Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßebau, Bonn, 1968
11. Harders J. Die Leistungsfähigkeit nicht signal geregelter städtischer Verkehrsknoten / Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 76. Hrsg.: Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßebau, Bonn, 1976
12. Hewitt R.H. Analyse von Grenzzeitlücken durch Probit-Analyse / Straßenverkehrstechnik 3/1993, S. 142 – 148
13. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.
14. Maze T.H. A probabilistic Model of Gap Acceptance Behavior / Transportation Research Record 795 TRB, National Research Council, Washington, D.C. 1981, pp. 8 – 13
15. Raff M.S., Hart J.W. A volume Warrant For Urban Stop Signs. Eno Foundation for Highway
16. Schnabel, W.: Verfahren zur Berechnung der Durchlassfähigkeit von nicht lichtsignalgesteuerten Straßenknoten. Die Strasse 19 (1979) 8, S. 236 – 239
17. Siegloch W. Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung / Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 154. Hrsg.: Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßebau, Bonn, 1973
18. Teply S., Abou-Henaidy M.I., Hunt J.D. Gap acceptance behaviour – aggregate and logit perspectives: Part 1. Traffic Engineering & Control, September 1997a, pp. 474 – 482
19. Teply S., Abou-Henaidy M.I., Hunt J.D. Gap acceptance behaviour – aggregate and logit perspectives: Part 2. Traffic Engineering & Control, October 1997b, pp. 540 – 544
20. Troutbeck R. Estimating the Critical Acceptance from Traffic Movements / Research Report 92-5. Queensland University of Technology, Brisbane, 1992
21. Weinert A. Grenz- und Folgezeitlücken an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen / Schriftenreihe Lehrstuhl für Verkehrswesen, Heft 23, Ruhr-Universität Bochum, 2001