

УДК 625

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-714-725>

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСЧЕТА ИНТЕРВАЛОВ СЛЕДОВАНИЯ В ГЛАВНЫХ ПОТОКАХ ДЛЯ ПРЕОБЛАДАЮЩИХ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.Ю. Михайлов, Е.Л. Попова

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В данной работе приведены результаты исследования методик расчета пропускной способности пересечений в одном уровне.

Целью написания данной исследовательской работы является определение оптимальной методики для расчета интервалов следования в главных потоках для преобладающих дорожных условий Российской Федерации, что в дальнейшем станет основанием для разработки новой методики для расчета пропускной способности, адаптированной для отечественных дорожных условий.

Материалы и методы. В последние десятилетия рыночных отношений в Российской Федерации можно отметить стремительное увеличение процесса автомобилизации в населенных пунктах. Предполагается, что в отечественных субъектах будет достигнута отметка в 550 автомобилей на 1000 чел к 2025 г., что значительно превосходит уровень, достигнутый на сегодняшний день в 80% европейской части Российской Федерации. Следует отметить, что при увеличении количества автомобилей и транспортных средств, уровень которых составляет более 80%, необходимо увеличение пропускной способности дорожных пересечений.

Результаты. В настоящее время методология расчета пропускной способности и длины очередей находятся на одном уровне. Следует отметить, что и существующие модели не получили должного описания в отечественной литературе, а сами расчеты выполнены с использованием моделей, разработанных в 60-70-х годах прошлого века.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспорт, пропускная способность, методика расчета, насыщенность транспортного потока, транспортная инфраструктура.

Поступила 30.07.20, принята к публикации 25.12.2020.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. **Конфликт интересов отсутствует.**

Для цитирования: А.Ю. Михайлов, Е.Л. Попова. Анализ математических моделей расчета интервалов следования в главных потоках для преобладающих дорожных условий российской федерации. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-714-725>

© Михайлов А.Ю., Попова Е.Л.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-714-725>

ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS FOR CALCULATING FOLLOWING INTERVALS IN MAIN FLOWS THE PREVAILING ROAD CONDITIONS IN THE RUSSIAN FEDERATION

Alexander Yu. Mikhailov, Ekaterina L. Popova

Irkutsk national research technical University Department of automobile transport, Irkutsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. This paper presents the results of a study on the methods for calculating the capacity of level crossings. The purpose of writing this research paper is determine the best methodology for calculating the intervals in the main flows for the prevailing road conditions in the Russian Federation, that a new methodology to calculate capacity adapted to domestic road conditions would be developed in the future.

Materials and methods. In recent decades of market relations in the Russian Federation, one can note a rapid increase in motorization in human settlements. The number in 550 vehicles per 1000 people in domestic entities is expected to have been increasde by 2025, which is significantly higher than the current level in European part of the Russian Federation. It is important to note that when the number of vehiclec is increasing, which level is about 80%, it is essential to increase road crossings capacity.

Results. At the moment the methodology for calculating capacity and queue length is the same. It should be noted that the current models are not properly described in the domestic studies, but the calculations were made using models developed in the 1960s and 1970s.

KEYWORDS: transport, capacity, calculation method, traffic flow density, transport infrastructure.

Submitted 30.07.20, revised 25.12.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Alexander Yu. Mikhailov, Ekaterina L. Popova. Analysis of mathematical models for calculating following intervals in main flows the prevailing road conditions in the russian federation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-714-725>

© Mikhailov A.Y., Popova E.L.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В международной литературе опубликовано множество различных методов оценки критических интервалов на нерегулируемых пересечениях. В данной работе дается обзор некоторых из наиболее важных методов.

Оценка критических интервалов в наблюдаемых закономерностях движения транспортных средств является одной из наиболее сложных задач эмпирической транспортной науки.

Говоря о проблеме проектирования элементов дорожной сети (УДС), следует отметить, что перекрестки являются наиболее важным аспектом дорожной сети. Именно на них определяется максимальная суммарная интенсивность движения транспортных средств, и, следовательно, они оказывают решающее влияние на уровень обслуживания дорожного движения (LOS-уровень обслуживания) [1]. Пропускная способность улично-дорожной сети зависит от пропускной способности узких мест в дорожной сети, и это важно:

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

В отрасли изучения процессов движения транспортных средств на нерегулируемых пересечениях было выполнено достаточное количество разработок различными авторами, основоположниками которых следует считать таких ученых, как Grabe [2], Harders [3] и Siegloch [4]. Позднее были исследования, проведенные Brilon [5] и Grossman [6]. Современные ученые в своих работах могли бы сослаться на девять различных методов оценки, которые в более раннее время не охватывали всего спектра возможных процедур, которые можно было бы получить из международной литературы [2]. Сегодня было бы легко найти более 20-30 методов, опубликованных в мире для оценки критических интервалов. Все эти методы дают различные результаты. Поэтому важный вопрос заключается в том, какая из этих процедур, рекомендованных разными авторами, дает правильную оценку? А другой вопрос: как выяснить, является ли оценка правильной или нет?

В теории нерегулируемых пересечений

обычно предполагается, что водители являются одновременно последовательными. Предполагается, что последовательные водители будут вести себя одинаково каждый раз во всех схожих ситуациях. Это означает, что водитель с определенным значением t_c никогда не будет принимать разрыв меньше t_c , и он будет принимать каждый большой разрыв потока, превышающий t_c . Однако в группе из нескольких водителей, каждый из которых ведет себя последовательно, разные водители могут иметь свои собственные значения t_c . Эти значения t_c затем рассматриваются как случайная величина со специальной статистической функцией плотности $f_c(t)$ и кумулятивной функцией распределения $F_c(t)$. Группа водителей является однородной, если каждая подгруппа водителей вне группы имеет одни и те же функции $f_c(t)$ и $F_c(t)$ [7].

Для оценки критических интервалов из наблюдений был предложен большой ряд методов.

Harders на основе исследований, выполненных Grabe, разработал более развернутую процедуру измерения пропускной способности нерегулируемых пересечений, которая более точно отражала действительность ситуаций происходящих на пересечениях дорог. Ученый Siegloch подверг критике работу, которую выполнил Harders. Но несмотря на то, что он расширил и усовершенствовал процедуру определения пропускной способности (сделал ее более простой в использовании), он подтвердил теорию, которую выдвинул Harders. В пособии «*Verfahren zur Berechnung der Durchlassfähigkeit von nicht lichtsignalgesteuerten Straßenknoten*» представлено более детальное сравнение моделей, которые получили Siegloch и Harders [8].

Если обратиться к историческим сведениям, то можно заметить определенный нюанс, согласно которому улично-дорожная сеть (УДС) российских городов, сформировавшаяся в то время, когда уровень автомобилизации составлял 30-80 автомобилей на 1000 жителей, не соответствует современным требованиям. Перегрузка городских дорог в часы пик в крупных и крупнейших регионах России приводит к пробкам. Снижение пропускной способности, наблюдаемое в случае заторов, способствует снижению эффективности использования транспортных средств, чрезмерному расходу топлива, загрязнению воздуха и нерентабельному использованию времени. Все это способствует транспортным потерям пользователей городской дорожной сети [9].

Целью данного исследования является определение оптимальной методики расчета пропускной способности пересечений в одном уровне.

Также в данной работе рассмотрен опыт Германии (таблица 1) классификации уровней обслуживания на нерегулируемых пересечениях и представлены соответствующие значения средних задержек для каждого уровня [10].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе использованы эмпирические методы исследования. Изучены разнообразные источники информации, на основе полученной информации выполнен анализ.

В ходе проведенного исследования на нерегулируемых перекрестках отмечается, что его геометрия оказывает основное влияние на пропускную способность этого типа перекрестка. С учетом высоких транспортных потоков на пересечениях города обеспечение безопасности дорожного движения на перекрестках становится все более актуальным. В качестве критерия, характеризующего уровень обслуживания движения на нерегулируемых перекрестках, принимается средняя задержка на транспортное средство, которое испытывает транспортное средство при проезде через перекресток. В таблице 1 представлена классификация уровней обслуживания на нерегулируемых перекрестках и соответствующие средние задержки для каждого уровня, которые используются в Германии [11, 12].

Таблица 1
Пример шкалы оценки уровня обслуживания дорожного движения (LOS-Level of Service) на нерегулируемом перекрестке

Table 1
The example of a scale for assessing the level of road service (LOS-Level of Service) at an unregulated intersection

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

Основой для оценки качества управления трафиком на нерегулируемых и круговых пе-

рекрестках является показатель уровня обслуживания трафика (LOS-Level of Service) [13, 14, 15]. Предполагаемые градации уровней обслуживания были разработаны в ряде стран. Например, в таблице 1 показаны границы уровней обслуживания, принятые в Германии (рекомендации HBS). Условия вождения транспортного средства, соответствующие каждому из уровней обслуживания управления HBS.

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

С учетом всех составляющих, включая оценку качества организации дорожного движения, в зарубежных руководствах процедура расчета состоит из нескольких этапов, представленных на рисунке 1 [16].

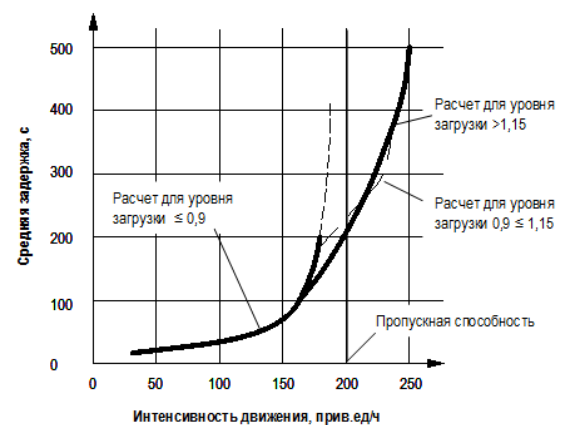


Рисунок 1 – Пример оценки транспортной задержки на нерегулируемом перекрестке

Figure 1 – The example of the transport delay estimation at an unregulated intersection

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравниваемые отечественная ОДМ 218.2.020–2012 и немецкая методики расчета пропускной способности нерегулируемых пересечений.

Методика ОДМ 218.2.020–2012 учитывает интенсивность основного потока, состав потока, наличие продольных уклонов, наличие / отсутствие канального движения, состав потока вторичного направления, но имеет недостаток в том, что значения наиболее важных проектных параметров не обновляются (рисунок 2).

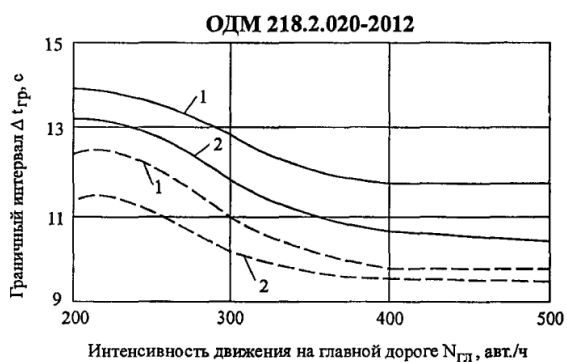


Рисунок 2 – Изменение граничного промежутка времени для левого поворота в зависимости от интенсивности движения по главной дороге

Figure 2 – Change in the boundary time interval for a left turn depending on the traffic intensity on the main road

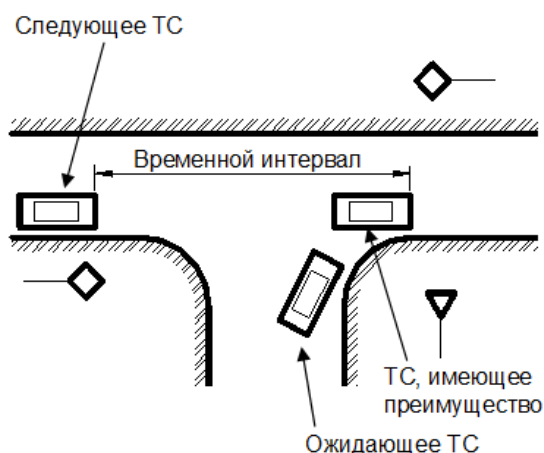


Рисунок 3 – Процесс въезда транспортного средства на перекресток из второстепенного потока (Германское руководство)

Figure 3 – The process of a vehicle entering at a crossroads from a secondary stream (German leadership)

Временной интервал, который необходим водителю для начала движения во вторичном направлении, называется граничным интервалом (рисунок 3). Классическое определение граничного интервала было сформулировано Greenshields и Raff [17, 18, 19]. Одним из первых методов оценки критических интервалов является метод Раффа, который ранее использовался во многих странах, например в работе (Retzko, 1961 г.), эта процедура была введена в Германии.

Harders' method. Хардерс (1968 г.) разработал метод оценки t_c , ставший довольно по-

пулярным в Германии. Вся практика бессигнальных пересечений в Германии до сих пор базируется на значениях t_c и $f_c(t)$, которые оценивались с помощью этой методики. Метод аналогичен методу запаздывания (метод Lag - задержка) – это время с момента прибытия второстепенного транспортного средства до прибытия следующего крупного транспортного средства. Данный метод предполагает следующие условия: последовательность водителей, независимость времени прибытия транспортного средства и транспортной ситуации на главном направлении [20, 21, 22].

Однако для процедуры Хардерса (1968 г.) «лаги» не должны использоваться в выборке. Шкала времени делится на интервалы постоянной длительности, например $\Delta t = 0.5$ с. Центр каждого интервала i обозначается t_i . Для каждого транспортного средства, стоящего в очереди на второстепенной улице, мы должны наблюдать все основные интервалы потока, которые представляются водителю, и, кроме того, принятый интервал.

Greenshields method. Greenshields определил граничный интервал t_c как интервал, который половина водителей приняли и половина отклонили. Его можно определить по медиане распределения, образованного следующим образом:

$$h^+ \frac{H^+}{H^+ + H^-}, \tag{1}$$

где $+$ – 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 4, 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 4, б) [23, 24].

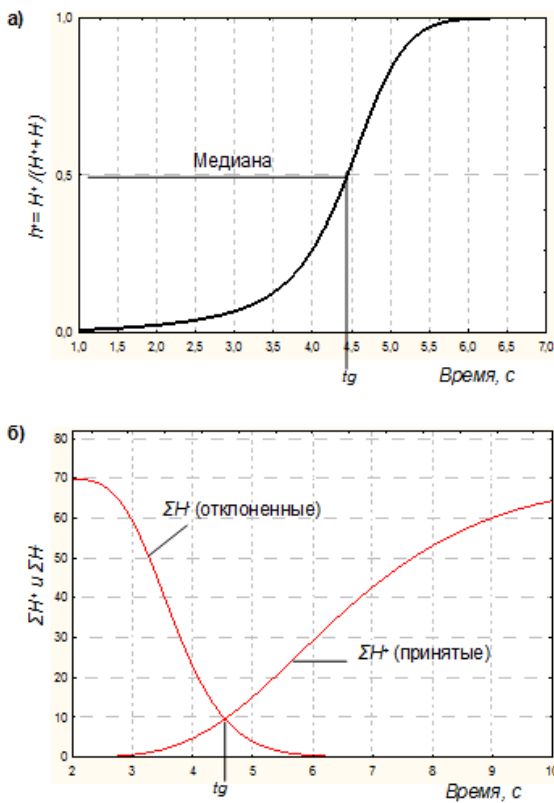


Рисунок 4 – Определение граничных интервалов по методикам, которые разработали Greenshields (а) и Raff (б)

Figure 4 – Determination of boundary intervals by the methods developed by Greenshields (a) and Raff (b)

Следует отметить, что при проведении обследований, направленных на определение основных параметров, которые описывают движение транспортных потоков на нерегулируемых перекрестках, следует помнить следующее:

1. При подходе с второстепенного направления всегда должна быть очередь не менее 5-6 транспортных средств в течение периода исследования.
2. При измерении временных интервалов между транспортными средствами, взятых во вторичном направлении между транспортными средствами в основном направлении, должны учитываться только реально принятые интервалы. Отклоненные интервалы в этом случае учитываться не должны (рисунок 5).
3. Количество обследований (измерений) должно быть достаточным для обеспечения статистической значимости ожидаемых результатов.

В сравнительном анализе российского ОДМ 218.2.020–2012 и немецкой методологии расчета пропускной способности нерегулируемых перекрестков также была выявлена одна важ-

ная проблема адаптации современных подходов к проектированию, а именно: в российском руководстве нет подробного описания потоков разных рангов [25, 26, 27].



Рисунок 5 – Номограмма для определения пропускной способности пересечения

Figure 5 – Nomogram for determining the throughput of the intersection

Немецкое руководство учитывает индивидуальные ранги, и для каждого выбирается желаемая комбинация потоков основного направления.

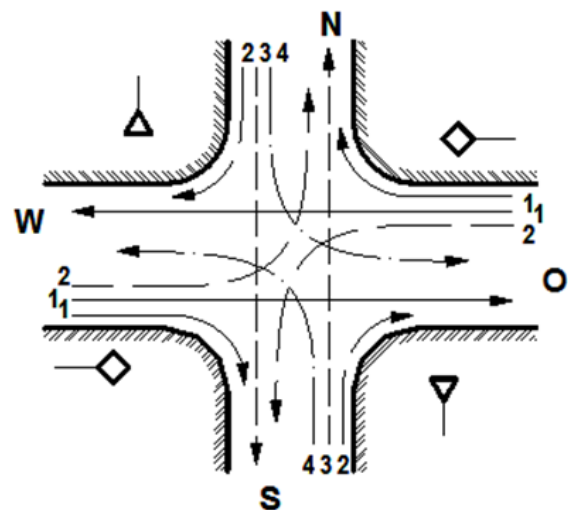


Рисунок 6 – Распределение рангов

Figure 6 – Rank distribution

Руководящие принципы HCM 2000 и HCM 2010 учитывают влияние импеданса – дополнительные помехи, создаваемые дополнительными точками конфликта после первой точки конфликта основного и вторичного потоков трафика, а также точками конфликта, созданными пешеходами (рисунок 6).

Таблица 2
Значения пропускной способности второстепенных направлений

Table 2
Secondary Directions Capacity Values

Интенсивность главного потока, авт/ч	Значения пропускной способности второстепенных направлений, авт/ч					
	Направление 2		Направление 3		Направление 4	
	НСМ 2000	ОДМ 218.020- 2012	НСМ 2000	ОДМ 218.020- 2012	НСМ 2000	ОДМ 218.020- 2012
100	1231	1428	731	1428	878	892
200	1095	1246	574	1246	792	846
300	973	1017	398	1017	714	804
400	865	907	230	907	644	758
500	768	835	67	835	579	693
600	682	794	исчерпана	794	521	641

Результаты сравнительного анализа приведены ниже. Сравнение сделано на примере Т-образного перекрестка при отсутствии пешеходного движения.

В соответствии с результатами относительного рассмотрения методология расчета пропускной способности вторичных направлений ОДМ 218.020–2012 дает завышенные значения пропускной способности для вторичных направлений движения, когда вторичный поток проходит через несколько конфликтующих точек (в этот случай, направление 3 представленное в таблице 2). Соответственно, возникают ошибки при оценке длины очереди, учитываемые при расчете геометрических параметров пересечения (длины участков накопления).

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Говоря о проектировании нерегулируемых пересечений необходимо отметить, что методология проектирования нерегулируемых перекрестков основана на использовании теории вероятностей. Уже много лет учеными и инженерами ведется работа по их усовершенствованию и обновлению. Последние руководства представляют методики расчетов, содержащие в себе много различных дорожных ситуаций. При этом стоит отметить значительный вклад немецких ученых в разработку исследования методов расчета пропускной способности для нерегулируемых пересечений. Следует отметить, что американскими учеными разработаны методики для нерегулируемых пересечений, которые основаны на разработках немецких ученых. Кроме того, американские ученые акцентируют внимание на недостаток такого же богатого опыта в об-

ласти изучения кольцевых пересечений, каким обладают немецкие эксперты.

Проанализируем более детально основу методики, которая используется американскими специалистами. На рисунке 7 изображена схема, показывающая последовательность операций при проектировании нерегулируемого пересечения.

Первоначальным шагом проектирования (оценки эффективности) является получение имеющейся информации о геометрии, имеющихся или ожидаемых интенсивностях движения пешеходных и транспортных потоков с учетом доли грузовых транспортных средств в потоке. Кроме того, берется информация о светофорных сигналах, расположенных рядом с изучаемыми нерегулируемыми перекрестками, оказывающими на него влияние. Здесь необходимо отметить, что процесс учета влияния светофоров на анализируемое пересечение используется лишь в американской методике. Германская методика не содержит в себе данной операции. Это может быть обосновано тем, что, по мнению германских ученых, светофоры оказывают небольшое воздействие на изучаемый нерегулируемый перекресток. Использование такого рода операции только усложняет вычисления.

Последующим шагом считается определение типов конфликтных потоков, для которых в будущем определяются базовые и фактические значения пропускной способности по надлежащим формулам.

Следующая стадия предполагает собой вычисление базовой пропускной способности для каждого направления. К примеру, в нынешней немецкой методике с целью установления ба-

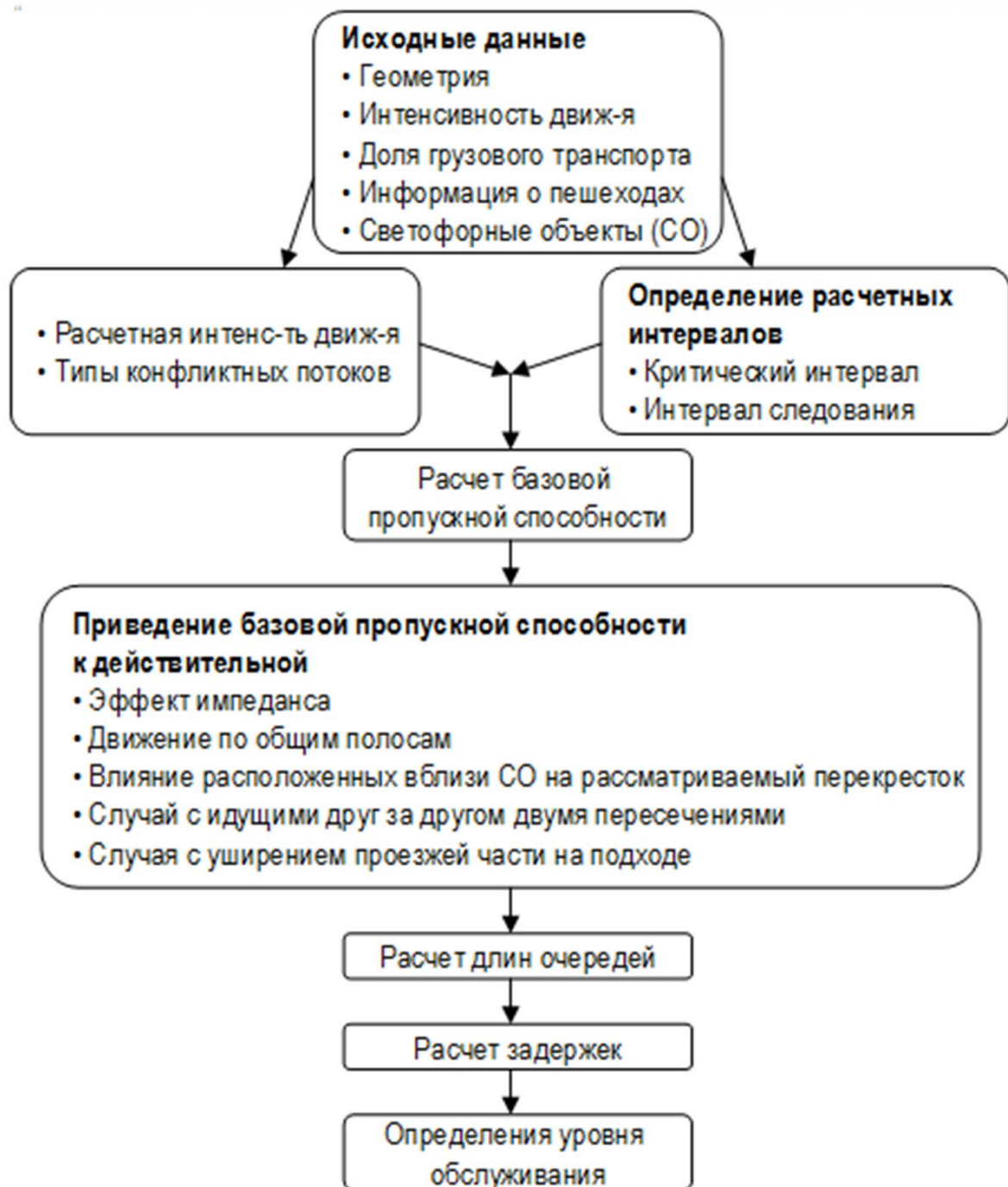


Рисунок 7 – Методология проектирования нерегулируемых пересечений

Figure 7 – Design methodology for unregulated intersections

звой пропускной способности используется формула

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

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

q_p – расчетная интенсивность приоритетно направленного первого ранга, авт/ч;

t_g – средний граничный интервал, с;

t_f – средний интервал следования, с.

Уже после этого, как определена базовая пропускная способность, следует базовые условия привести к реальным. Здесь используются вспомогательные процедуры, которые учитывают тип второстепенного направления. Учитывается особенность движения двух направлений по одной смешанной полосе движения, влияния, расположенные вблизи [25]. Кроме того, берется во внимание воздействие на пропускную способность уширения проезжей части на подходе к перекрестку.

Заключительными стадиями, относящимися к оценке уровня обслуживания, считается вычисление временных задержек, длин очереди и определенных уровней обслуживания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проведен сравнительный анализ методик расчета пропускной способности руководства ОДМ 218.2.020-2012-Раздел 6.1 «Пропускная способность пересечений в одном уровне», руководств HCM 2000, 2010, Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections. Следует отметить, что методы проектирования нерегулируемых перекрестков улучшаются и обновляются. Новейшие возможные методы расчета. Следует отметить серьезный вклад немецких исследователей в разработку методов нерегулируемых и, в частности, кольцевых пересечений. Например, американские методы расчета нерегулируемых перекрестков основаны на разработках немецких специалистов. Американские эксперты подчеркивают отсутствие такого же богатого опыта в области исследований кольцевых пересечений, которым владеют немецкие ученые [28].

Рассмотрено, что геометрия нерегулируемых перекрестков оказывает основное влияние на пропускную способность этого типа перекрестка. С учетом высоких транспортных потоков на перекрестках обеспечение безопасности дорожного движения на перекрест-

ках становится все более важным. В качестве критерия, характеризующего уровень обслуживания движения на нерегулируемых перекрестках, принимается средняя задержка на транспортное средство, которое испытывает транспортное средство при проезде через перекресток.

Наиболее значимым отличием методики, представленной в ОДМ 218.2.020–2012, является отсутствие в ней оценки качества организации дорожного движения на нерегулируемых и кольцевых пересечениях. Критерием оценки качества организации движения на нерегулируемых и кольцевых пересечениях является величина средней задержки транспортных средств второстепенных направлений движения, процедура расчета которой не рассмотрена в руководстве ОДМ 218.2.020–2012.

Современные зарубежные руководства детально рассматривают процесс движения на нерегулируемых и кольцевых пересечениях, но методика расчета является трудоемкой.

Рассмотрено классическое определение граничного интервала, выведенное Greenshields и Raff, данными авторами был определен временной интервал, который необходим водителю для начала движения во вторичном направлении.

Данная работа положит начало в разработке адаптированного для отечественных условий руководства для расчета пропускной способности пересечений улично-дорожной сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравченко П.А., Олещенко Е.М. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 2(75). С. 14-18.
2. Grabe W. Performance determination of non-light signal controlled road traffic junctions // Research work from road traffic. 1954. No 11.
3. Harders J. border and follow-up time gaps as a basis for calculating the performance of rural roads // Road construction and Road Traffic Engineering. 1968. No 216.
4. Sieglöch W. Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung // Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. 1973; 154.
5. Brilon, W. further development of the calculation methods for junctions without light signalling systems in the Federal Republic of Germany // International Workshop Knotenpunkte without light signal systems. Conference documents, Bochum March. 1988.
6. Grossmann M. methods for the calculation and assessment of performance and traffic quality at junctions without light signalling systems // Series of papers chair of traffic management Ruhr-Universität Bochum. 1991. No 9.

7. Жигадло А.П., Дубынина М.Г. Влияние психофизиологических особенностей личности водителя на надежность управления транспортным средством // Вестник Сибирского отделения Академии военных наук. 2018. № 49. С.119-130.

8. Корчагин В.А., Ляпин С.А., Клявин В.Э., Ситников В.В. Повышение безопасности движения автомобилей на основе анализа аварийности и моделирования ДТП // Фундаментальные исследования. 2015. №6. С. 251-256.

9. Evtuykov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multicriteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle // Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. Pp. 149-156. DOI: org/10.1016/j.trpro.2018.12.057.

10. Evtuykov S., Repin S. Renewal Methods of Construction Machinery According to Technical and Economic Indicators // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vols. 725-726. Pp. 990-995. URL: <https://www.scientific.net/AMM.725-726.990>.

11. Valeriy Kapitanov, Valentin Silyanov, Olga Monina, Aleksandr Chubukov. Methods for traffic management efficiency improvement in cities // Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. Pp. 252-259. DOI: org/10.1016/j.trpro.2018.12.077.

12. Домке Э.Р., Жесткова С.А. Вероятностная модель торможения колесной машины // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 2 (33). С. 3-7.

13. Brannolte U., Pribyl P., Silyanov V. Simulation of Regional Mortality Rate in Road Accidents Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 20, Pp. 112-124. DOI: org/10.1016/j.trpro.2017.01.032.

14. Новиков И.А. Кравченко А.А., Шевцова А.Г., Васильева В.В. Научно-методологический подход к снижению аварийности на дорогах Российской Федерации // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 3. С. 58-65. DOI: org/10.33979/2073-7432-2019-66-3-3-8.

15. Евтюков С.А. Васильев Я.В. Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза. Санкт-Петербург, ДНК, 2012. 392 с.

16. Трофименко Ю.В. [и др.]. Велосипедный транспорт в городах. Москва, МАДИ, 2020. 154 с.

17. Kurakina E., Evtiukov S, Ginzburg G. Systemic indicators of road infrastructure at accident clusters // Architecture and Engineering. 2020Ю Т. 5, No 1. Pp. 51-58. DOI: org/10.23968/2500-0055-2020-5-1-51-58.

18. Куракина Е.В. Об эффективности проведения исследований мест концентрации ДТП // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ. 2018. №2 (67). С.231237. DOI: org/10.23968/1999-5571-2018-15-2-231-23.

19. Куракина Е.В., Евтюков С.С., Голов Е.В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий. Санкт-Петербург, Петрополис, 2017. 204 с.

20. Складорова А.А., Складоров Р.А., Хайров В.В. Совершенствование механизации производства работ технологии ГНБ // Актуальные проблемы современного строительства: материалы 72-й Всероссийской научно-практической конференции студентов,

аспирантов и молодых ученых в 2-х ч. 2019. Ч. 2. С. 129-135.

21. Складорова А.А., Складоров Р.А., Щербаков А.П. Комплексная система оценки эффективности НТТМ при бестраншейной разработке грунта // Магистратура – автотранспортной отрасли : материалы IV Всероссийской межвузовской конференции «Магистерские слушания». 2019. Ч. 1. С. 149-153.

22. Евтюков С.А., Лутов Д.А., Шиманова А.А. Управление жизненным циклом машины с целью повышения эффективности использования парка машин для зимнего содержания дорог // Вестник гражданских инженеров. 2017. №4 (63). С. 205-211.

23. Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Морозов Д.Ю. Тенденции развития автономных интеллектуальных транспортных систем в России // Транспорт РФ. 2016. №5 (66). С. 26-28.

24. Жанказиев, С.В., Власов В.М. Научные подходы к формированию государственной стратегии развития интеллектуальных транспортных систем // Научные аспекты развития транспортно-телематических систем. 2010. С. 46-68.

25. Плотников А.М. Управление безопасностью дорожного движения на одноуровневых перекрестках. Санкт-Петербург, ООО «Экспертные решения», 2014. 404 с.

26. Evtiukov S. A., Kurakina E. V., Evtiukov S. S. Smart Transport in road transport infrastructure // Materials Science and Engineering. 2020. № 832. DOI: org/10.1088/1757-899X/832/1/012094.

27. Мельников И.И., К.А. Демиденков, Емельянов И.А., Евсеенко И.А. Детектор движения на основе импульсных нейронных сетей // Информационные технологии. 2013. № 7. С. 57-60.

28. Амосов О.С., Иванов Ю.С. Модифицированный алгоритм локализации номерных знаков транспортных средств на основе метода Виолы-Джонса // Информатика и системы управления. 2014. Т. 39. № 1. С. 127-140.

REFERENCES

1. Kravchenko P.A., Oleshchenko E.M. Sistemnyj podhod v upravlenii bezopasnost'ju dorozhnogo dvizhenija v Rossijskoj Federacii [A systematic approach to road safety management in the Russian Federation]. *Transport of the Russian Federation*. 2018. No. 2 (75). S. 14-18. (in Russian)

2. Grabe W. performance determination of non-light signal controlled road traffic junctions // Research work from road traffic. 1954; 11.

3. Harders J. border and follow-up time gaps as a basis for calculating the performance of rural roads // Road construction and Road Traffic Engineering. 1968; 216.

4. Siegloch W. Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung // Strabenbau und Strabenverkehrstechnik. 1973; 154.

5. Brilon W. further development of the calculation methods for junctions without light signalling systems in the Federal Republic of Germany // International Workshop Knotenpunkte without light signal systems. Conference documents, Bochum March. 1988.

6. Grossmann M. methods for the calculation and assessment of performance and traffic quality at junctions without light signalling systems // Series of papers chair of traffic management Ruhr-Universität Bochum.1991. No 9.
7. Zhigadlo A.P., Dubynina M.G. Vliyanie psihofiziologicheskikh osobennostej lichnosti voditelja na nadezhnost' upravlenija transportnym sredstvom [Influence of psychophysiological characteristics of the driver's personality on the reliability of vehicle control]. *Bulletin of the Siberian Branch of the Academy of Military Sciences*. 2018.No. 49. C.119-130. (in Russian)
8. Korchagin V.A., Lyapin S.A., Klyavin V.E., Sitnikov V.V. Povyshenie bezopasnosti dvizhenija avtomobilej na osnove analiza avarijnosti i modelirovanija DTP [Increasing the safety of vehicles based on the analysis of accidents and accident modeling]. *Fundamental research*. 2015; 6: 251-256. (in Russian)
9. Evtyukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multicriteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle. *Transportation Research Procedia*. 2018; 36: 149-156. DOI: org/10.1016/j.trpro.2018.12.057.
10. Evtyukov S., Repin S. Renewal Methods of Construction Machinery According to Technical and Economic Indicators // Applied Mechanics and Materials. 2015; 725-726: 990-995. URL: <https://www.scientific.net/AMM.725-726.990>. DOI: org/10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.990. (in Russian)
11. Valeriy Kapitanov, Valentin Silyanov, Olga Monina, Aleksandr Chubukov. Methods for traffic management efficiency improvement in cities. *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 36. Pp. 252-259. DOI: org/10.1016/j.trpro.2018.12.077.
12. Domke E.R., Zhestkova S.A. Veroyatnostnaja model' tormozhenija kolesnoj mashiny [Probabilistic model of braking of a wheeled vehicle]. *World of transport and technological machines*. 2011. No. 2 (33): 3-7. (in Russian)
13. Brannolte U., Pribyl P., Silyanov V. Simulation of Regional Mortality Rate in Road Accidents Transportation Research Procedia. 2017; 20: 112-124. DOI: org/10.1016/j.trpro.2017.01.032.
14. Novikov I.A. Kravchenko A.A., Shevtsova A.G., Vasilyeva V.V. Nauchno-metodologicheskij podhod k snizheniju avarijnosti na dorogah Rossijskoj Federacii [Scientific and methodological approach to reducing accidents on the roads of the Russian Federation]. *World of transport and technological machines*. 2019; 3: 58-65. DOI: org/10.33979/2073-7432-2019-66-3-3-8. (in Russian)
15. Evtyukov S.A. Vasiliev Ya.V. Dorozhno-transportnye proisshestvija: rassledovanie, rekonstrukcija, jekspertiza [Road traffic accidents: investigation, re-construction, expertise]. St. Petersburg, DNA, 2012. 392 p. (in Russian)
16. Trofimenko Yu.V. [and etc.]. Velosipednyj transport v gorodah [Cycling transport in cities]. Moscow, MADI, 2020. 154 p. (in Russian)
17. Kurakina E., Evtiukov S, Ginzburg G. Systemic indicators of road infrastructure at accident clusters. *Architecture and Engineering*. 2020; 5(1): 51-58. DOI: org/10.23968/2500-0055-2020-5-1-51-58.
18. Kurakina E.V. Ob jeffektivnosti provedenija issledovanij mest koncentracii [On the effectiveness of research of the places of concentration of road accidents]. *Bulletin of civil engineers of SPbGASU*. 2018; 2 (67): 231-237. DOI: org/10.23968/1999-5571-2018-15-2-231-23. (in Russian)
19. Kurakina E.V., Evtyukov S.S., Golov E.V. Rekonstrukcija dorozhno-transportnyh proisshestvij [Reconstruction of road traffic accidents]. St. Petersburg, Petropolis, 2017. 204 p.
20. Sklyarova A.A., Sklyarov R.A., Khayrov V.V. Sovershenstvovanie mehanizacii proizvodstva rabot tehnologii GNB [Improvement of mechanization of production of HDD technology works]. *Actual problems of modern construction: materials of the 72nd All-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists in 2 hours*. 2019; 2: 129-135. (in Russian)
21. Sklyarova A.A., Sklyarov R.A., Shcherbakov A.P. Kompleksnaja sistema ocenki jeffektivnosti HTTM pri bestranshejnoj razrabotke grunta [Comprehensive system for assessing the effectiveness of HTTM in trenchless soil development]. *Magistracy – motor transport industry: materials of the IV All-Russian interuniversity conference "Master's hearings"*. 2019; 1: 149-153. (in Russian)
22. Evtyukov S.A., Lutov D.A., Shimanova A.A. Upravlenie zhiznennym ciklom mashiny s cel'ju povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija parka mashin dlja zimnego sodержanija dorog [Machine life cycle management with the aim of increasing the efficiency of using the fleet of cars for winter road maintenance]. *Bulletin of civil engineers*. 2017; 4 (63): 205-211. (in Russian)
23. Zhankaziev S.V., Vorobiev A.I., Morozov D.Yu. Tendencii razvitija avtonomnyh intellektual'nyh transportnyh sistem v Rossii [Trends in the development of autonomous intelligent transport systems in Russia]. *Transport RF*. 2016; 5 (66): 26-28. (in Russian)
24. Zhankaziev, S.B., Vlasov V.M. Nauchnye podhody k formirovaniju gosudarstvennoj strategii razvitija intellektual'nyh transportnyh sistem [Scientific approaches to the formation of a state strategy for the development of intelligent transport systems]. *Scientific aspects of the development of transport-telematic systems*. 2010. 46-68. (in Russian)
25. Plotnikov A.M. Upravlenie bezopasnost'ju dorozhnogo dvizhenija na odnourovnevnyh perekrestkah [Road safety management at single-level crossroads]. St. Petersburg, LLC "Expert solutions", 2014. 404 p.
26. Evtiukov S. A., Kurakina E. V., Evtiukov S. S. Smart Transport in road transport infrastructure. *Materials Science and Engineering*. 2020; 832. DOI: org/10.1088/1757-899X/832/1/012094. (in Russian)
27. Melnikov I.I., Demidenkov K.A., Emelyanov I.A., Evseenko I.A. Detektor dvizhenija na osnove impul'snyh nejronnyh setej [Motion detector based on impulse neural networks]. *Information technologies*. 2013; 7: 57-60. (in Russian)

28. Amosov O.S., Ivanov Yu.S. Kurakina E.V., Evtuykov S.S. Modificirovannyj algoritm lokalizacii normnyh znakov transportnyh sredstv na osnove metoda Violy-Dzhonsa [Road safety audit as an element of systemic management of activities to prevent road accidents]. *Materials of the IV International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Innovations in Transport (Oryol State University named after I.S. Turgenev)*, 2019. 126-132. (in Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Михайлов Александр Юрьевич. Предоставил теоретическую базу для исследования, выполнил корректировку проведенного анализа.

Попова Екатерина Леонидовна. Провела сравнительный анализ методик расчета пропускной способности.

AUTHORS CONTRIBUTION

Mikhailov Alexander. Provided a theoretical basis for the study, performed the adjustment of the analysis.

Popova Ekaterina. Conducted a comparative analysis of the methods for calculating the throughput.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Михайлов Александр Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры автомобильного транспорта Иркутского научного исследовательского технического университета г. Иркутск ул. Лермонтова 83, тел. 8(3952)40-51-36, e-mail: mikhaylov_ay@mail.ru.

Попова Екатерина Леонидовна – аспирант кафедры автомобильного транспорта Иркутского научного исследовательского технического университета г. Иркутск ул. Лермонтова 83, тел. 89149097495, e-mail: katerinapiskovec@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mikhailov Alexander Yurievich – doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automobile Transport of the Irkutsk Scientific Research Technical University, Irkutsk, Lermontova st. 83, tel. 8 (3952) 40-51-36, e-mail: mikhaylov_ay@mail.ru.

Popova Ekaterina Leonidovna – postgraduate student of the department of road transport, Irkutsk Scientific Research Technical University, Irkutsk, Lermontova st. 83, tel. 89149097495, e-mail: katerinapiskovec@mail.ru.