

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 198–223.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (5): 198–223.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 332.142.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-198-223

EDN: SNDIBO

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ КРУПНЫХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТОМСКА)

Галина Вениаминовна Пушкарева, Денис Дмитриевич Халтурин
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Улично-дорожная сеть крупных городов, геометрия которых проектировалась на перспективную автомобилизацию 180–200 автомобилей на 1000 человек населения, не удовлетворяет современным требованиям удобства и безопасности движения транспортных потоков и пешеходов. Данная проблема особенно актуальна для местной улично-дорожной сети, поскольку именно здесь на нерегулируемых перекрестках наблюдается аварийность с особо тяжелыми последствиями.

Цель работы. Повышение эффективности организации дорожного движения на нерегулируемых пересечениях местной улично-дорожной сети с применением современных методов успокоения движения.

Методы исследования. Статистическая обработка результатов дорожно-транспортных происшествий в г. Томске за последние 6 лет.

Результаты работы. Статистическая обработка данных дорожно-транспортных происшествий по районам г. Томска показала, что наибольшее число аварий с тяжелыми последствиями характерно для территорий города с сохранившейся исторической застройкой, где имеется большое количество улиц со значительной степенью извилистости и ограниченной видимостью на нерегулируемых перекрестках.

Решение проблемы безопасности движения на нерегулируемых перекрестках без значительных затрат возможно с применением методов успокоения движения, широко применяемых по всему миру. Средства успокоения движения предназначены для снижения скорости движения транспорта как на нерегулируемых перекрестках, так и на подходах к пешеходным переходам, к школам и детским учреждениям. Эффект от применения метода достигается за счет визуального и физического препятствования езде на большой скорости в требуемых местах. Для снижения аварийности непосредственно на перекрестках хорошо работают приемы, предусматривающие изменение схемы движения на перекрестке, в частности, применение мини-колец, диаметр которых не превышает 4 м. Зарубежный опыт внедрения мини-кольцевых пересечений убедительно доказывает их высокую эффективность как средства повышения безопасности движения.

Выводы. В работе выполнен краткий обзор применения мини-кольцевых пересечений в мировой практике. Проанализированы существующие теоретические модели расчета пропускной способности нерегулируемых пересечений и мини-колец. Даны рекомендации по применению методов успокоения движения и устройства мини-кольцевых пересечений в г. Томске.

Ключевые слова: местная улично-дорожная сеть, нерегулируемый перекресток, интенсивность движения, дорожно-транспортное происшествие, успокоение движения, мини-кольцевые пересечения

Для цитирования: Пушкарева Г.В., Халтурин Д.Д. Анализ методов повышения безопасности движения на нерегулируемых перекрестках крупных городов (на примере города Томска) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 198–223. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-198-223. EDN: SNDIBO

ORIGINAL ARTICLE

ANALYSIS OF TRAFFIC CALMING TECHNIQUES AT UNSIGNALIZED INTERSECTIONS IN LARGE CITIES

Galina V. Pushkareva, Denis D. Khalturin

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The street and road network of large cities designed for 180–200 cars per 1000 people, does not meet modern requirements of convenience and safety of traffic flows and pedestrians. This problem is especially urgent for the local street-road network, since accidents occur at unregulated intersections.

Purpose: The aim of the paper is to improve the traffic efficiency at unsignalized intersections of the local street-road network with the use of modern traffic calming methods.

Methodology/approach: Statistical processing of the data on traffic accidents in Tomsk for the last 6 years. Brief description of mini-ring intersections in the world practice.

Research findings: Statistical processing of data on traffic accidents in Tomsk shows that the greatest number of accidents with severe consequences is characteristic to the regions with historical buildings, large number of streets with significant tortuosity and limited visibility at unsignalized intersections. Traffic safety at unsignalized intersections can be addressed at no significant cost by using traffic calming techniques that are widely used around the world. Traffic calming measures reduce traffic speeds both at unsignalized intersections and crosswalks, schools and child care facilities. The effect of the method is achieved by visually and physically discouraging high speed driving at the required locations. In order to reduce the accident rate directly at intersections, the traffic pattern must be changed at the intersection, in particular, the diameter of mini-rings must be not over 4 m. The foreign experience in implementing mini-ring intersections convincingly proves their high efficiency as a means of improving traffic safety.

Value: Calculation models for the capacity of unregulated intersections and mini-rings are analyzed. Recommendations are given to the application of traffic calming methods and mini-ring intersections in Tomsk.

Keywords: local street network, unsignalized intersection, traffic volume, road vehicle accident, traffic calming, mini-roundabouts

For citation: Pushkareva G.V., Khalturin D.D. Analysis of traffic calming techniques at unsignalized intersections in large cities. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 198–223. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-198-223. EDN: SNDIBO

Введение

Обеспечение безопасности дорожного движения является составной частью национальных задач гарантии личной безопасности, решения демографических, социальных и экономических проблем, повышения качества жизни, содействия региональному развитию [1]. Однако неуклонный рост автомобилизации, достигающий более 300 автомобилей на 1000 человек, характерный

для всех крупных городов, формирует ряд серьезных проблем, прежде всего связанных с невозможностью обеспечения требуемого уровня удобства и безопасности движения. Совершенно справедливо, что при расстановке приоритетов развития улично-дорожных сетей (УДС) упор ставится именно на сеть магистральных улиц, что обусловлено их ключевой ролью в транспортной системе города. В то же время эффективное обслуживание населения города невозможно без улиц местного значения. С ростом интенсивности транспортного потока на магистральных улицах возможности проезда перекрестка с второстепенных направлений ухудшаются. В ожидании приемлемого интервала водители вынуждены простаивать значительное время и нередко принимать интервалы меньшие, чем необходимо по условиям безопасности движения (БД), что в результате приводит к увеличению количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Особо концентрация ДТП отмечается на нерегулируемых перекрестках, составляющих значительную долю всех пересечений городских улично-дорожных сетей. Традиционный подход для решения вопроса безопасности на нерегулируемых перекрестках – установка светофора. Он снизит количество аварий, но те, которые произойдут, напротив, будут очень серьезными. Кроме того, установка светофора на перекрестке вызывает транспортные задержки на главной улице.

Опыт современной зарубежной практики организации дорожного движения (ОДД) доказал, что существует эффективное средство повышения безопасности на УДС – успокоение движения. Успокоение движения – это «методы создания физических и визуальных препятствий движению на большой скорости на требуемых участках» УДС [9, 10]. Арсенал различных средств успокоения движения достаточно разнообразен, и их выбор осуществляется исходя из конкретных условий движения. Непосредственно на перекрестках вместо обычных нерегулируемых пересечений за рубежом успешно применяются кольца малого диаметра и мини-кольца как одно из средств успокоения движения.

В соответствии с данными международной статистики переоборудование нерегулируемых пересечений в кольцевые пересечения малого диаметра позволяет снизить аварийность на 40–80 % [7]. Это обусловило широкое распространение в мировой практике пересечений, обозначаемых термином «современные кольцевые пересечения». Данным термином обозначаются кольцевые пересечения малого диаметра, имеющие приоритет движения по кольцевой проезжей части и целый ряд особенностей проектирования геометрических элементов, обеспечивающих проезд длинномерных транспортных средств, а также безопасное движение пешеходов [11]. В российской практике ОДД методы успокоения движения на УДС, а также мини-кольцевые пересечения еще не получили широкого распространения.

Состояние аварийности на улично-дорожной сети г. Томска и методы ее снижения

Проблема аварийности преимущественно городская. В стране на протяжении ряда лет более 70 % всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП) регистрируется в населенных пунктах, большинство – в крупных городах [3, 4]. Причина этого заключается в более плотных транспортных потоках

и интенсивном движении пешеходов, которые практически отсутствуют на загородных дорогах. На рис. 1 приведена статистика ДТП по России в целом с 2015 г. по 1-й квартал 2023 г., включая общее количество ДТП, число пострадавших и погибших. Статистические данные отражают снижение общего числа ДТП по годам, однако количество погибших и получивших тяжёлые ранения практически не меняется, что свидетельствует об увеличении смертельных случаев по отношению к общему количеству ДТП.



Рис. 1. Статистика количества ДТП, раненых, погибших за 2015 г. – 1-й квартал 2023 г. в России
Fig. 1. Road accident statistics: injured, killed in 2015. The 1st quarter of 2023 in Russia

Следует отметить, что наиболее многочисленной и самой уязвимой группой участников дорожного движения являются пешеходы. За последние 8 лет количество пешеходов, погибших в результате дорожно-транспортных происшествий, увеличилось на треть. Всего за этот период погибло свыше 100 тыс. и ранено свыше 500 тыс. человек [4].

Проблема аварийности на дорогах Томской области также весьма актуальна. Несмотря на значительное снижение количества ДТП по области за последние шесть лет, количество погибших и пострадавших, как и в целом по России, не уменьшается (рис. 2). С января по декабрь 2022 г. в Томской области произошло 470 ДТП, в которых 87 чел. погибли, 542 получили травмы [3]. По сравнению с 2015 г. число погибших по отношению к общему числу ДТП увеличилось на 7 %.

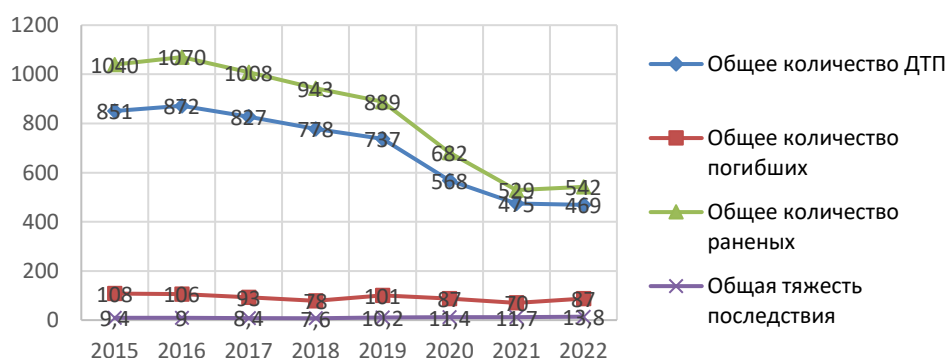


Рис. 2. Статистика ДТП за период 2015–2022 гг. в Томской области (по данным ГИБДД по Томской области)

Fig. 2. Traffic accident statistics for the period 2015–2022 in the Tomsk region (according to the data of the State Traffic Safety Inspectorate of the Tomsk region)

Сложная обстановка с аварийностью и наличие тенденций к дальнейшему ухудшению ситуации во многом объясняются следующими причинами:

- постоянно возрастающей мобильностью населения;
- уменьшением объема перевозок общественного транспорта;
- нарастающей диспропорцией между увеличением количества автомобилей и протяженностью улично-дорожной сети, не рассчитанной на современные транспортные потоки.

Современный уровень обеспечения населения автомобилями в городах превышает 300 автомобилей на тысячу жителей, тогда как дорожно-транспортная инфраструктура соответствует уровню 180–200 автомобилей на тысячу жителей [3, 4]. Как следствие, происходит ухудшение условий дорожного движения, нарушение экологической обстановки, увеличение количества заторов, расхода топлива, а также рост количества дорожно-транспортных происшествий с тяжелыми последствиями.

Смертность в ДТП – глобальная проблема, с которой сталкиваются как передовые, так и развивающиеся страны. Однако северным государствам удается увеличить показатели надежности дорожно-транспортной системы. В конце 1990-х гг. Швеция приняла программу «принципа нулевой терпимости», цель которой – «устранить смертность и травматизм в дорожных авариях». Суть программы заключается в принятии ответственности за создание транспортных сетей и разработке системы, сводящей на нет ошибки участников движения [2]. Шведская программа получила широкий отклик в странах Европы. К сожалению, в российских городах темпы увеличения количества лиц, пострадавших в результате дорожно-транспортных происшествий, опережают темпы увеличения общего количества ДТП. При этом почти 60 % ДТП с тяжелыми последствиями приходится на столицы и административные центры субъектов Российской Федерации [4].

Рассмотрим проблемы аварийности в Томске. Томск состоит из четырех крупных административных районов (рис. 3, а). Общая протяженность улично-дорожной сети г. Томска составляет 272 км. Средняя плотность – 1,6 км/км², в центре – около 4 км/км², в целом по застроенной правобережной части города – 2,1 км/км². Для более удаленных от центра территорий характерно снижение уровня развития улично-дорожной сети. Активное строительство новых крупных жилых микрорайонов с плотностью улично-дорожной сети от 1,0 до 1,5 км/км² также требует организации движения транспорта, причем как на местной внутриквартальной сети, так и на выходах на опорную магистральную сеть города (рис. 3, б) [5].

Совместно с многоэтажным строительством идет развитие поселков индивидуального жилищного строительства с плотностью улично-дорожной сети менее 1,0 км/км², где также необходима организация местного движения, поскольку в часы пик наблюдаются значительные задержки на нерегулируемых перекрестках.

Результаты статистической обработки данных по общему количеству ДТП в Томске и по районам города, а также по степени их тяжести за последние 6 лет приведены на рис. 4. По данным карты (рис. 3) можно судить, что Октябрьский район – самый крупный в городе, кроме того, он расположен на

исторической территории с сохранением большого количества извилистых улиц и переулков. Данные статистики ДТП с 2017 по 2022 г. показывают, что именно в этом районе на протяжении последних 5 лет наблюдалось наибольшее количество ДТП с тяжелыми последствиями (рис. 4).

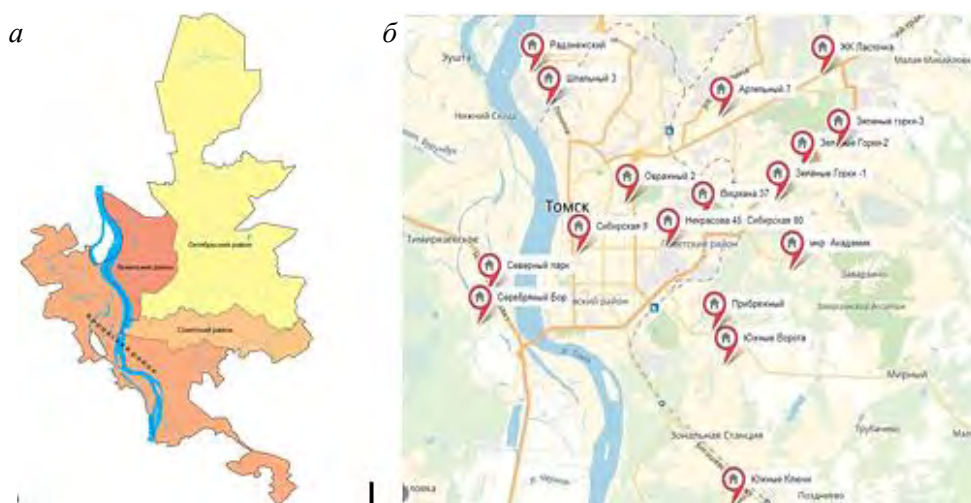


Рис. 3. Карта административных районов г. Томска (а); микрорайоны активного многоэтажного жилищного строительства (б)

Fig. 3. Map of administrative districts in Tomsk (a); regions with active multi-storey housing (b)



Рис. 4. Статистика ДТП в Томске и по районам города

Fig. 4. Traffic accident statistics in Tomsk and its districts

Сравнение статистических данных изменения ДТП за последние 6 лет по России, Томской области и г. Томску (рис. 1, 2, 4), по данным службы ГИБДД, свидетельствует о том, что основными причинами ДТП с тяжелыми последствиями являются нарушения скоростного режима, правил проезда пешеходных переходов и несоблюдение очередности проезда на нерегулируемых перекрестках [3, 4]. Так, за 12 месяцев 2022 г. на территории Томской области было зарегистрировано 466 ДТП, в результате которых 81 человек погиб и 533 получили ранения. Как сообщили интернет-редакции «Вести.Томск» в ответ на за-

прос в пресс-службе регионального УМВД, число погибших в ДТП в сравнении с 2021 г. увеличилось на 15,7 %. Кроме того, отмечаются сопутствующие причины неудовлетворительного состояния улично-дорожной сети, среди них: отсутствие и плохая различимость дорожной разметки; отсутствие, неправильное применение либо плохая видимость дорожных знаков; недостатки зимнего содержания дорог; отсутствие (несоответствие) дорожных или пешеходных ограждений; отсутствие тротуаров/пешеходных дорожек; отсутствие или неисправное/недостаточное освещение. Из общей статистики следует выделить ДТП на нерегулируемых перекрестках, поскольку именно на них наблюдаются аварии с тяжелыми последствиями. Нерегулируемые перекрестки, как правило, расположены в жилых районах, где интенсивность движения не столь велика, но из-за ошибок и выбора неправильных действий водители часто нарушают правила проезда (рис. 5, 6).



Рис. 5. Столкновение автомобилей на нерегулируемом перекрестке улиц Яковлева и Средне-Кирпичной. Жертвами столкновения стали 4 человека

Fig. 5. Car collision at unregulated intersection of Yakovleva and Sredne-Kirpichnaya Streets. 4 victims in this collision



Рис. 6. На нерегулируемом перекрестке улиц Сибирской и Жуковского произошло столкновение двух легковых автомобилей. Четырехлетний ребенок доставлен в больницу

Fig. 6. Two passenger cars collided at unregulated intersection of Sibirskaia and Zhukovsky Streets. A four-year-old child was taken to hospital

Интенсивное строительство жилых районов создало дисбаланс между ростом автомобильного парка и уровнем развития улично-дорожной сети города и населенных пунктов, который привел к ухудшению условий движения, заторам, росту задержек и увеличению расхода топлива, ухудшению экологической обстановки, росту количества ДТП (рис. 7). Кроме того, при строительстве жилых комплексов внутриквартальные проезды, непосредственно влияющие на безопасность движения, в целях снижения стоимости строительства часто не соответствуют требованиям действующих нормативных документов¹.

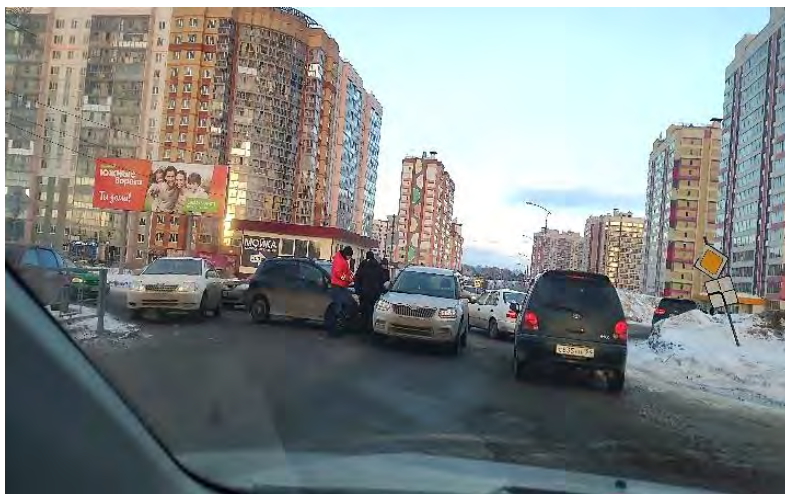


Рис. 7. ДТП на нерегулируемом перекрестке улиц Степановской и Виталия Грачева из-за невнимательности в час пик. Микрорайон Южные Ворота

Fig. 7. Accident at unregulated intersection of Stepanovskaya and Vitaly Grachev Streets due to inattention in rush hour. Yuzhnye Vorota microdistrict

Статистика ДТП и данные наблюдений за режимами движения свидетельствуют, что количество аварий на нерегулируемых перекрестках в немалой степени зависит от обеспечения видимости поверхности дороги непосредственно на кривых в плане (на повороте). Водитель должен видеть других участников дорожного движения либо препятствия, расположенные на проезжей части и вблизи от неё. Для этого радиусы кривых в плане и продольном профиле должны соответствовать нормативным документам². Следует отметить, что расстояние видимости на улице или дороге – это один из важнейших параметров, определяющих безопасность дорожного движения³. Гарантированная видимость на всем пути дает возможность водителю при возникновении экстренной ситуации совершить безопасный маневр и избежать ДТП. Для этого на нерегулируемых перекрестках должен быть обеспечен так называемый

¹ СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка сельских поселений (Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89*). СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования. Москва: Стандартинформ, 2019. 64 с.

² Там же.

³ Там же.

мый треугольник видимости, т. е. участок прилегающей к перекрестку территории должен быть очищен от растительности, построек, парковок и т. д.водители автомобилей, входящих на перекресток со всех сторон, должны видеть друг друга. Однако в Томске существует множество перекрестков с ограниченной видимостью. Данная ситуация характерна для улично-дорожной сети старой застройки. В качестве примера на рис. 8, 9 приведены конкретные участки с необеспеченной видимостью на улицах местного значения в Октябрьском районе города [6].



Рис. 8. Пересечение пер. Макушина с ул. Пушкина

Fig. 8. Intersection of Makushin and Pushkin Streets



Рис. 9. Пересечение улиц Октябрьской и Средне-Кирпичной

Fig. 9. Intersection of Oktyabrskaya and Sredne-Kirpichnaya Streets

На рассматриваемом участке видимость ограничивает парковка вдоль дома по ул. Пушкина, 14, а также растительность на треугольниках видимости. При повороте, а также при движении прямо с пер. Макушина на ул. Пушкина видимость автомобиля, движущегося по полосе прямого движения, ограничена.

В качестве рекомендаций для обеспечения видимости необходимы следующие мероприятия:

- освободить треугольники видимости на пер. Макушина от растительности, а в зимний период от складирования снега. Срезка насаждений должна начинаться на расстоянии видимости от начала или конца кривой. По условиям обеспечения боковой видимости и требуемого режима движения не разрешается посадка деревьев ближе 5 м от кромки проезжей части;

- запретить парковку автомобилей по ул. Пушкина вдоль дома № 14 либо установить знак парковки за 5 м до перекрестка⁴.

⁴ СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка сельских поселений (Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89*).

Ситуация на пересечении улиц Октябрьской и Средне-Кирпичной сложилась таким образом, что перекресток оказался в выемке. При выезде с ул. Октябрьской затруднена видимость потока машин, выезжающих с ул. Средне-Кирпичной. Водитель непроизвольно выезжает на полосу параллельно движущегося автомобиля, чтобы убедиться, что движение может быть продолжено, тем самым нарушая безопасность движения.

В качестве рекомендаций можно предложить установить зеркало и ограничить скоростной режим для большей безопасности участников дорожного движения, согласно рекомендациям⁵.

На участках с ограниченной видимостью на пересечении равнозначных улиц должна быть расстановка предупреждающих знаков по ГОСТ Р 52289–2019 (рис. 10).

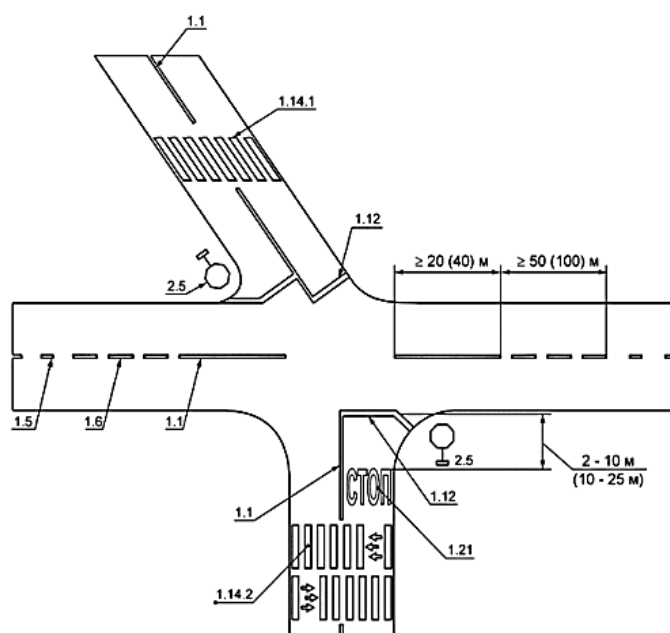


Рис. 10. Пример нанесения разметки перед нерегулируемым перекрестком с ограниченной видимостью

Fig. 10. Markings in front of unregulated intersection with limited visibility

Особенности организации движения на нерегулируемых перекрестках

Применение современных технических средств и систем организации движения поможет сократить общее количество и тяжесть ДТП. Их устройство должно быть связано в первую очередь с местами расположения школьных и детских учреждений, а также с местами концентрации ДТП. К сожалению, уровень оснащённости дорожной сети Томска техническими средствами организации дорожного движения остается недостаточным. Эксплуатацион-

⁵ СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования. Москва: Стандартинформ, 2019. 64 с.

ное состояние светофоров, присутствие информационных и предупреждающих дорожных знаков, разметки не везде удовлетворяют современным требованиям ГОСТ Р 52289–2019⁶. Безусловно, решение транспортных проблем возможно в первую очередь путем строительства и реконструкции УДС, транспортных сооружений, т. к. именно они обеспечивают перераспределение транспортных потоков, повышение пропускной способности на основных магистралях, уменьшая простои транспортных средств на перекрестках. Однако подобное строительство требует длительного времени, значительных финансовых вложений и связано с отчуждением территорий.

Резервом влияния на ситуацию служат мероприятия по совершенствованию организации движения транспорта и пешеходов на нерегулируемых перекрестках. Их реализация позволит улучшить ситуацию в перегруженных районах, обеспечить повышение пропускной способности без серьезных реконструктивных мероприятий. Подобные мероприятия называются средствами «успокоения движения», которые с большим успехом используются в наше время по всему миру [7].

Цель применения методов успокоения движения – снижение числа конфликтных ситуаций, предотвращение ДТП и снижение тяжести их последствий [10]. Методы успокоения движения предназначены для снижения скорости движения транспорта, в частности, в жилых районах города (на улицах низких категорий) [9]. Мировая практика использования методов успокоения движения показала, что их применение даёт положительный эффект именно в жилых районах [9, 10, 11]. Положительный эффект применения методов успокоения движения разные авторы оценивают следующим образом:

– Tim Pharoah и John Rüssel определяют как «усилия по достижению спокойной, безопасной и улучшенной ситуации на дорогах» [9];

– доктор Dr. Carmen Hass-Klau отмечает «сочетание стратегий, служащих для снижения вредного влияния на окружающую среду, повышения безопасности и разделения влияния транспортных средств для оценки воздействия на индивидуума и общество в целом» [10].

– Ian M. Lockwood (The Institute of Transportation Engineers (ITE), Traffic Calming Definition Subcommittee and) в успокоении движения видит «комбинацию преимущественно физических мероприятий, которые снижают негативный эффект от использования автомобильных транспортных средств, корректируют манеру вождения и улучшают условия для остальных участников движения, таких как пешеходы и велосипедисты» [11].

В России в 2017 г. были изданы методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения «Методы успокоения движения» [8], в основу которых заложен европейский и американский опыт. В этом документе собраны все возможные способы снижения скорости движения транспорта. Мероприятия по успокоению движения можно условно разделить на мероприятия, предусматривающие при-

⁶ ГОСТ Р 52289–2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. Москва: Стандартинформ, 2020. 134 с.

менение управляющих средств, и на мероприятия по перепланировке улиц [8]. Цель применения мероприятий заключается в повышении безопасности движения за счет повышения внимательности водителей и снижения скорости движения потока. Данный эффект достигается за счет визуального и физического препятствования езде на большой скорости в требуемых местах. Физическое препятствование – это изменение параметров дороги, которые приводят к психологическим изменениям в ощущениях водителем окружающей его дорожной сети, вследствие чего снижается скорость потока, что, в свою очередь, способствует снижению количества ДТП и их тяжести, загрязнения воздуха, дорожных заторов и уровня шумов.

Анализ литературных источников [9, 10, 11] показал, что мероприятия по успокоению движения классифицированы в 13 широких категорий и могут принимать форму разнообразных чередований или дополнительных применений к сложившейся улично-дорожной сети. Классификация средств успокоения движения приведена в работе [8]. Нужно отметить, что каждое средство решает конкретную задачу и применять его следует, исходя из конкретных целей и условий движения. Например, на участках УДС, где отсутствует движение тяжелого габаритного транспорта, перед пешеходными переходами в местах расположения школ, детских садов, детских площадок и т. д. для снижения скорости на двухполосных улицах целесообразно применение сужения проезжей части. При этом выбор варианта сужения определяется интенсивностью движения транспорта и пешеходов (рис. 11).

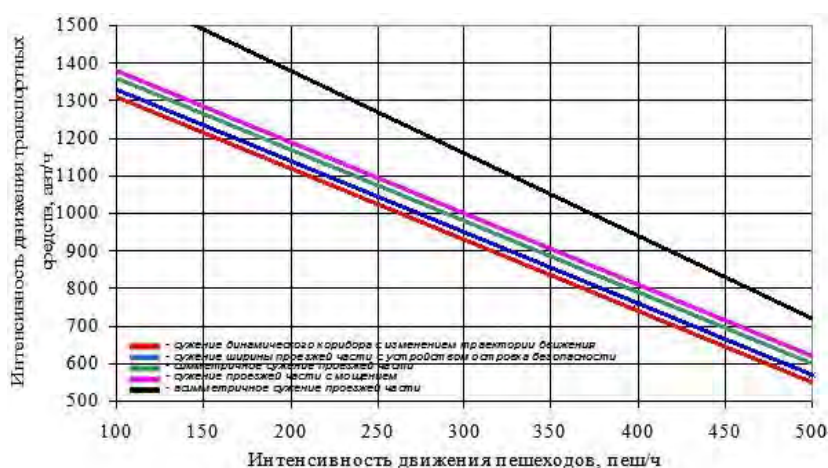


Рис. 11. Область применения методов сужения ширины проезжей части УДС для достижения ограничения скорости движения до 20 км/ч [8]

Fig. 11. Scope of application of carriageway width narrowing to achieve a 20 km/h speed limit [8]

Важнейшим требованием ОДД в тёмное время суток является равномерное распределения яркости освещения участков УДС с измененной геометрией ширины проезжей части. На рис. 12–14 приведены возможные варианты изменения ширины проезжей части.

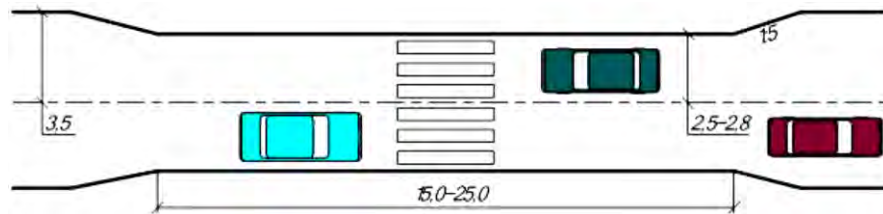


Рис. 12. Симметричное сужение проезжей части с внешней стороны улично-дорожной сети
Fig. 12. Symmetrical carriageway narrowing on street outside and road network

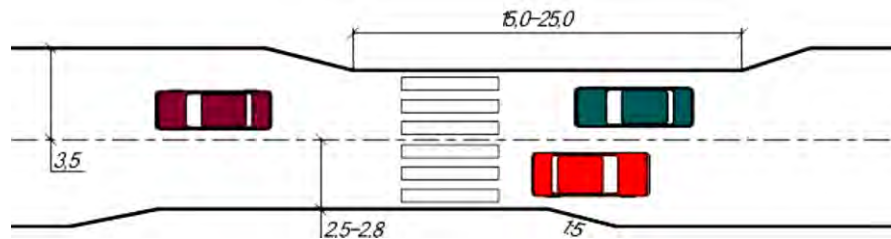


Рис. 13. Асимметричное сужение проезжей части с внешней стороны улично-дорожной сети
Fig. 13. Asymmetrical carriageway narrowing on street outside and road network

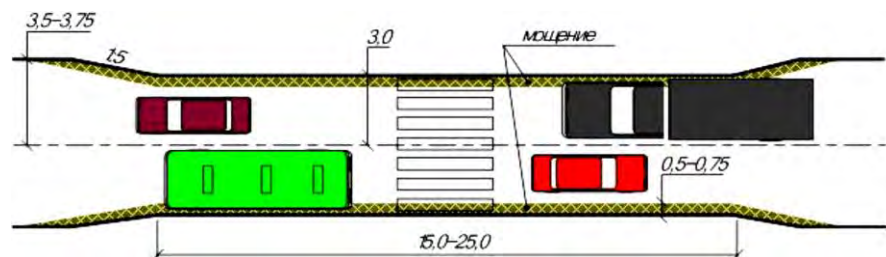


Рис. 14. Сужение ширины проезжей части с мощением краевых полос
Fig. 14. Narrowing roadway width with edge strip paving

Для снижения скорости возможно применение мощения участка проезжей части вдоль бортового камня шириной 0,35–0,75 м из брусчатки, булыжного или колотого камня (рис. 13). Такого рода решения по успокоению движения могут применяться и на многополосных проезжих частях перед саморегулируемыми пешеходными переходами.

Информационное обеспечение и инженерное обустройство участков дорог с измененной шириной проезжей части должно осуществляться в соответствии с требованиями действующих нормативных документов (ГОСТ Р 52289–2019).

В Томске активно применяются так называемые лежащие полицейские, по геометрии и материалу исполнения не соответствующие требованиям ГОСТ Р 52605–2006⁷. Хорошей заменой «лежащим полицейским» послужит

⁷ ГОСТ Р 52605–2006. Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения. Москва: Стандартинформ, 2007. 7 с.

нанесение поперечных светозумовых полос, которые представляют собой комбинацию световых и шумовых полос. Шумовые полосы выполняются либо при помощи поверхностной обработки покрытий, либо путем наклейки поперечных линий из пластичных материалов или нарезки поперечных канавок в покрытиях и другими способами изменения ровности. Световые полосы выполняются дорожной разметкой белого цвета. В качестве материала используют современные эмали, термопластики, пластики холодного формования, штучные формы, которые наносят поверх шумовых полос или параллельно им в непосредственной близости. Визуальный эффект от световых полос усиливается вибрацией от шумовых полос. Шумовые полосы, устанавливаемые перед пешеходными переходами, могут быть либо вырезаны в покрытии проезжей части (рис. 15, а), либо нанесены на проезжую часть (рис. 15, б). Расстояния между шумовыми полосами сокращаются по мере приближения к пешеходному переходу.

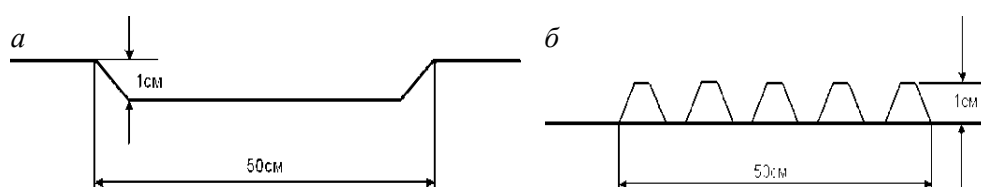


Рис. 15. Шумовые полосы:

а – вырезанные на проезжей части; б – из пластичных материалов

Fig. 15. Noise strips:

а – cut on the roadway; б – cut from plastic materials

Требования к геометрическим параметрам шумовых полос представлены в табл. 1. Глубина первых трех полос составляет 2,5–3,0 см, последующих – 1,5–2,0 см. Шумовая полоса может состоять из отдельных полос шириной от 0,05 до 0,2 м с промежутками между ними такой же ширины.

Таблица 1

Параметры шумовых полос

Table 1

Noise strip parameters

Требуемое снижение скорости, %	Необходимое количество полос, шт.	Расстояние от начала опасного участка до первой полосы, м	Расстояние между полосами, м
20	4	10	10, 15, 20
25	5	6	6, 10, 15, 20
30	6	6	6, 6, 15, 20
40	8	3	3, 3, 6, 10, 15, 20

Типовые схемы устройства светозумовых полос на поверхности проезжей части приведены на рис. 16.

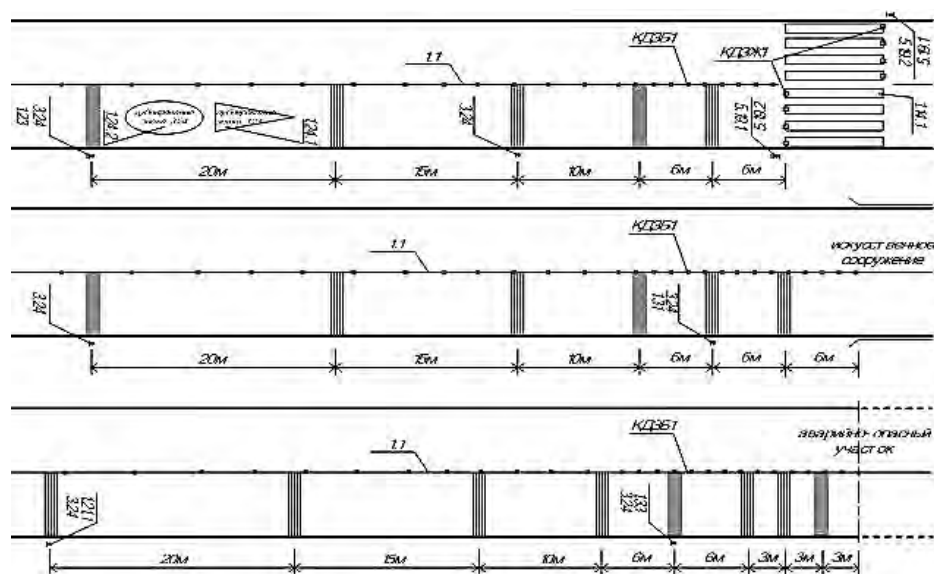


Рис. 16. Обустройство участков с поперечными световыми и светозумовыми полосами
Fig. 16. Site development with transverse light and light-noise strips

Дополнительный тактильный эффект воздействия светозумовых полос достигается применением рельефной разметки, достаточно эффективной при выпадении осадков и при движении в темное время суток.

Как было отмечено выше, для г. Томска характерно интенсивное строительство многоэтажных жилых массивов и поселков индивидуального строительства. Для принудительного снижения скорости движения транспортных средств в жилой зоне рекомендуется использовать планировочные и инженерные методы, например, изменение траектории движения транспортных средств (рис. 17) [8].

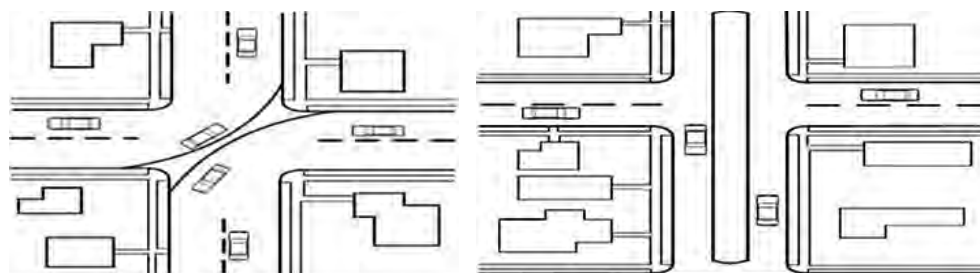


Рис. 17. Варианты исключения сквозных проездов в зоне жилой застройки
Fig. 17. Options for avoiding through passages in residential housing

Связь жилых зон с магистральными улицами осуществляется пересечениями и примыканиями внутриквартальных проездов к магистралям. Большое количество выездов ведет к увеличению конфликтных ситуаций с транспортным потоком, движущимся по магистрали при въезде и выезде из проезда.

Особое значение имеет доля транспортных средств, выезжающих из жилой зоны и поворачивающих налево, когда на выезжающей улице отсутствуют разделительные полосы или разметка. При высокой интенсивности транспортного потока, движущегося по магистрали, и доли транспортных средств, поворачивающих налево, поворот может быть затруднен и на проезде возможно образование заторов. В этом случае для снижения аварийности непосредственно на перекрестках хорошо работают приемы, предусматривающие изменение схемы движения, в частности, достаточно эффективным приемом является применение мини- и компактных колец.

В соответствии с данными международной статистики переоборудование нерегулируемых пересечений в кольцевые пересечения малого и среднего диаметра позволяет снизить аварийность на 40–80 % [7]. Это обусловило широкое распространение в мировой практике пересечений, обозначаемых термином «современные кольцевые пересечения» [12, 14, 15]. Данным термином обозначаются кольца малого и среднего диаметра, имеющие приоритет движения по кольцевой проезжей части и целый ряд особенностей проектирования геометрических элементов, обеспечивающих проезд длинномерных транспортных средств, а также безопасное движение пешеходов.

Современная концепция мини-колец была впервые представлена в Великобритании в 1970 г. как способ увеличения пропускной способности и снижения транспортных задержек на существующих пересечениях, где другие формы организации движения на перекрестке не применимы или не рациональны [7]. Департамент Транспорта Великобритании дает следующее определение термина «мини-кольцо»: «...мини-кольцо является типом организации движения на пересечении, на котором транспортные средства движутся вокруг белой круговой разметки (центрального островка), имеющей диаметр от 1 до 4 м...» [8, 11].

Транспортные средства, движущиеся по мини-кольцу, имеют приоритет движения. На кольцевой проезжей части наносятся три белых стрелки, указывающих направление движения (рис. 18). Центральный островок может возвышаться над проезжей частью, но не более чем на 125 мм. Этим обеспечивается возможность движения длинных грузовых транспортных средств через островок (рис. 19). Дорожные знаки «круговое движение» устанавливаются на каждом из подходов к мини-кольцу. Максимальный внешний диаметр (диаметр вписывания в перекресток) не должен превышать 28 м.

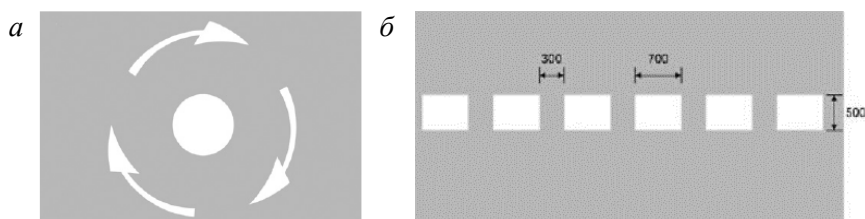


Рис. 18. Дорожная разметка, применяемая в Великобритании на мини-кольцах:
а – центральный островок и направление движения; б – стоп-линия

Fig. 18. Road markings in Great Britain on mini-rings:
а – center island and traffic direction; б – stop line



Рис. 19. Допускаемое движение крупных транспортных средств через островок на мини-кольцах [8]

Fig. 19. Allowable movement of large vehicles through the island on mini-rings [8]

Первоначально мини-кольца применялись лишь как метод повышения безопасности дорожного движения, как альтернатива другим типам пересечений, где существуют ограничения на размеры пересечения и сложности с финансированием реконструкции существующего перекрестка. В дальнейшем на них возложили задачи успокоения движения транспортного потока и снижения числа дорожно-транспортных происшествий на перекрестке [7].

В Германии мини-кольца применяются в основном в условиях стесненной застройки. Ширина полосы на кольце принимается 3,75 м, внешний диаметр – до 26 м. В центральной части пересечения обустраивается полусферическое возвышение (островок) высотой до 20 см. При необходимости автобусам и длинномерным грузовым автомобилям разрешается въезд на центральный островок (рис. 20) [16, 17].



Рис. 20. Мини-кольцо диаметром 4 м с шириной полосы на кольце 3,75 м и с возвышением (до 20 см) в центре в виде полусферы. Краевая полоса шириной 1,5 м

Fig. 20. Mini-ring with a diameter 4 m with band width of 3.75 m and hemispherical elevation (up to 20 cm) at the center. Edge strip width: 1.5 m

В США рекомендации по разработке и проектированию мини-колец основаны на методах, разработанных в Германии, и главным образом в Великобритании. Их применяют в местах, где отсутствует необходимость обеспечивать пропускную способность, и в местах движения преимущественно легкового автомобильного транспорта. Имея маленькие габариты, мини-кольца значительно повышают безопасность движения пешеходов за счет небольшой длины пешеходных переходов и низкой скорости движения. Для обеспечения низкой скорости движение через центральный островок запрещено для легковых автомобилей, однако допустимо для движения длинномерных транспортных средств, движущихся прямо или совершающих поворот (рис. 21) [7, 15].



Рис. 21. США. Пример мини-кольцевого пересечения, применяемого для успокоения движения на местных улицах жилых территорий

Fig. 21. Mini-roundabout intersection for traffic calming on residential streets, USA

В России первое мини-кольцо появилось в 2014 г. Его обустроили в Перми на перекрестке ул. Советской и Куйбышева (рис. 22). Опыт оказался успешным – количество аварий сократилось в 6 раз. После круговое движение с устройством мини-колец было организовано еще на десятке перекрестков. К сожалению, практика не нашла широкого применения, несмотря на высокие оценки экспертов в области транспорта и урбанистики. Сейчас кольца малого диаметра применяют в Москве и на Сахалине.



Рис. 22. Внешний вид первого мини-кольца в г. Перми

Fig. 22. First mini-ring in the city of Perm

В 2021 г. мини-кольцевое пересечение появилось в Южно-Сахалинске. Изначально развязка состояла только из столбиков, наличие которых несколько раз игнорировалось со стороны водителей. Следующим этапом становления круговой развязки стала замена столбиков на модульный бордюр (рис. 23).



Рис. 23. «Зеленая» кольцевая развязка в Южно-Сахалинске
Fig. 23. Green traffic circle in Yuzhno-Sakhalinsk

Теоретические основы оценки пропускной способности мини-кольцевых пересечений и задержек на них

Особенность нерегулируемых транспортных пересечений заключается в случайном прибытии автомобилей. Пропускная способность нерегулируемых пересечений определяется интенсивностью второстепенных потоков, выбирающих интервалы главного направления. Поэтому распределение интервалов между транспортными средствами в потоках оказывает существенное влияние на функционирование нерегулируемого пересечения. Наиболее важно изучение распределений достаточно длительных интервалов, т. к. именно они принимаются водителями второстепенных направлений для выполнения различных маневров. Моделью, характеризующей распределение интервалов в транспортном потоке, принимают отрицательное экспоненциальное распределение, которое предполагает, что все транспортные средства прибывают случайно, без какой-либо зависимости от предыдущего. Плотность распределения интервалов в потоке $f(t)$ имеет вид

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

где λ – параметр распределения, авт./с; $\lambda = q / 3600$; q – интенсивность движения, авт./ч.

Кумулятивное распределение (т. е. функция распределения) вероятностей появления интервала h , не превышающего заданное t , имеет следующий вид:

$$P(h \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

Единственное преимущество экспоненциального распределения – простота его применения: необходимо определить только один параметр – интенсивность движения q .

Недостаток экспоненциального распределения заключается в том, что оно не совсем точно аппроксимирует распределение интервалов при высоких значениях интенсивности. В этой связи применяется смещенное экспоненциальное распределение [16, 17].

Смещенное экспоненциальное распределение учитывает, что интервалы между транспортными средствами в потоке не могут быть менее некоторого значения $t(m)$. Величина минимального интервала $t(m)$ может интерпретироваться как расстояние вокруг автомобиля, которое не может использовать никакой другой водитель, находящийся в этом же потоке, деленное на скорость потока. Предполагается, что интервалы в потоке имеют величину более t_m , но при этом подчиняются экспоненциальному распределению. Соответственно $f(t)$ рассматриваются как

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < t_m; \\ \lambda e^{-\lambda(t-t_m)}, & \text{если } t \geq t_m, \end{cases}$$

где λ – параметр распределения, $\lambda = \frac{q}{1-t_m q}$; t_m – параметр смещения распределения (величина минимального интервала в потоке), с.

Кумулятивное распределение вероятностей появления интервала заданного размера имеет вид

$$F(h) = 1 - e^{-\lambda(h-t_m)}.$$

Смещенное экспоненциальное распределение значительно лучше аппроксимирует, чем отрицательное экспоненциальное распределение, но не учитывает, что в некоторых случаях, например при высоких интенсивностях, транспортные средства поступают так называемыми пачками.

В городских условиях в потоке движения появляются «пачки», т. е. группы, внутри которых расстояния между автомобилями, движущимися друг за другом, небольшие (например, влияет светофорное регулирование), и поэтому поток следует рассматривать состоящим из двух частей – связанной и свободной. К первой части относят те транспортные средства, которые движутся в «пачках». Ко второй части потока относят те транспортные средства, на скорость движения которых не оказывает влияния транспортное средство, движущееся впереди. Анализ специальной литературы показал, что существует ряд дихотомических распределений [7, 13], однако наиболее используемой в теории принятия интервалов является модель Cowan МЗ [18]. Данная модель наиболее точно описывает распределение «больших» интервалов, применяемых для выполнения маневров на нерегулируемых пересечениях водителями второстепенных направлений движения.

Плотность этого распределения имеет следующий вид:

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < t_m; \\ \alpha \lambda e^{-\lambda(t-t_m)}, & \text{если } t \geq t_m, \end{cases}$$

где α – доля свободной части транспортного потока; λ – параметр распределения, определяемый формулой

$$\lambda = \frac{\alpha q}{(1 - t_m q)}.$$

Модели оценки пропускной способности можно разделить на два класса:

- регрессионные модели, в которых пропускная способность определяется как статистическая функция независимых переменных, включающих интенсивность главного потока и характеристики кольцевого пересечения;
- модели, основанные на «теории принятия интервалов» – т. е. на оценке взаимодействия главного и второстепенных потоков, при этом второстепенным потоком используются интервалы главного потока, превышающие некоторое значение (критический интервал).

Регрессионные модели более просты и удобны для практического использования и применяются в Великобритании и ФРГ [16, 17, 18, 19]. Недостаток этих моделей заключается в том, что они применимы только для дорожных условий с полученными регрессионными зависимостями.

Ряд стран (например, Австралия, США, Финляндия) используют методики, основанные на модели принятия интервалов [20, 21]. Такие модели сложнее для практического применения, но имеют определенные достоинства. Признано, что они более подходят для расчетов мини-колец.

В модели принятия интервалов принято, что транспортное средство второстепенного направления пересекает перекресток или совершает маневр слияния с главным потоком, если интервал в потоке главного направления превышает граничный, или критический, интервал t_c . Из образовавшейся на второстепенном направлении очереди транспортные средства могут двигаться с интервалом t_f (интервал следования из очереди).

При интервале в главном потоке $0 < t < t_c$ транспортные средства второстепенного направления не пересекают перекресток. В случае если интервал в главном потоке t_c , то перекресток пересекает одно транспортное средство второстепенного направления. Если интервал в главном потоке удовлетворяет условию $t_c + t_f \leq t < t_c + 2t_f$, то перекресток пересекают два транспортных средства второстепенного направления. Соответственно вероятность того, что за момент времени t перекресток пересекут i транспортных средств второстепенного направления, имеет следующий вид:

$$p_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t < t_m; \\ 0, & \text{в другом случае.} \end{cases}$$

Функция принятия интервалов имеет вид

$$\alpha(t) = \left[\frac{t - t_c + t_f}{t_f} \right] = \begin{cases} 0, & \text{если } t < t_c; \\ \left[\frac{t - t_c + t_f}{t_f} \right], & \text{если } t \geq t_c. \end{cases}$$

Пропускная способность второстепенного направления C_p определяется как произведение среднего количества транспортных средств, пересекающих перекресток за один интервал в главном потоке, на количество этих интерва-

лов за единицу времени. В соответствии с этим при интенсивности главного потока, равной 0, максимальная интенсивность движения автомобилей из очереди второстепенного направления достигнет

$$t_f^{-1} \text{ (авт./с) и } 3600t_f^{-1} \text{ (авт./ч).}$$

Для описания распределения интервалов в транспортном потоке используют разновидности экспоненциального распределения.

Если интервалы главного потока подчиняются экспоненциальному распределению, получаем уравнение пропускной способности

$$C = \frac{\lambda e^{-\lambda t_c}}{1 - e^{-\lambda t_f}},$$

где λ – параметр распределения (т. е. интенсивность движения главного потока, авт./с); t_{cf} – интервал следования из очереди второстепенного направления, с.

В случае применения смещенного экспоненциального распределения пропускная способность равна:

$$C = \frac{\lambda e^{-\lambda(t_c - t_p)}}{1 - e^{-\lambda t_f}}.$$

В руководстве HCM 2000 рассмотрен случай кольцевого пересечения с однополосными подходами (т. е. с улицами, имеющими по две полосы движения) (рис. 24). При этом указывается, что в США еще не накоплен достаточный опыт эксплуатации кольцевых пересечений с несколькими полосами движения на подходах, что пока не позволяет создать практическое руководство. К разработке данного раздела привлекался исследователь R.J. Troutbeck [19, 20].

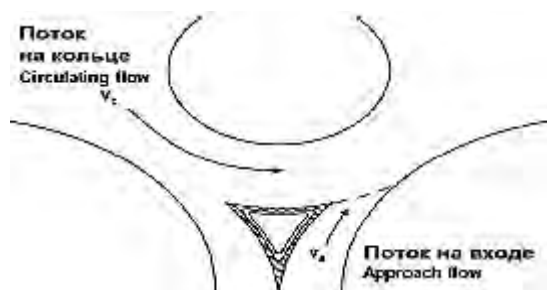


Рис. 24. Исходная схема к расчету пропускной способности входа на кольцевое пересечение в руководстве HCM 2000:

v_a – интенсивность движения на входе на кольцевое пересечение, авт./ч; V_c – интенсивность движения на кольце, авт./ч

Fig. 24. Initial scheme for calculating the capacity of traffic circle entrance:

v_a – traffic intensity at the roundabout entrance, vehicles per hour; V_c – traffic intensity at the ring, vehicles per hour

В соответствии с приведенной выше схемой пропускная способность входа на пересечение c_a (прив. авт./ч) рассчитывается как

$$c_a = \frac{v_c e^{v_c t_c / 3600}}{1 - e^{v_c t_f / 3600}},$$

где v_c – интенсивность движения на кольце, прив. авт./ч; t_c – критический интервал, с; t_f – интервал следования из очереди второстепенного потока (на входе на кольцо), с.

Диапазон значений критических интервалов и интервалов следования из очереди, используемых в расчетах кольцевых пересечений, указан в табл. 2. Влияние данных параметров на величину получаемой расчетной пропускной способности входа на кольцевое пересечение представлено на рис. 25.

Таблица 2

Значения критических интервалов и интервалов следования из очереди

Table 2

Critical intervals and motion from queue

Границы диапазона значений	Критические интервалы, с	Интервалы следования из очереди второстепенного потока t , с
Нижняя	4,1	2,6
Верхняя	4,6	3,1

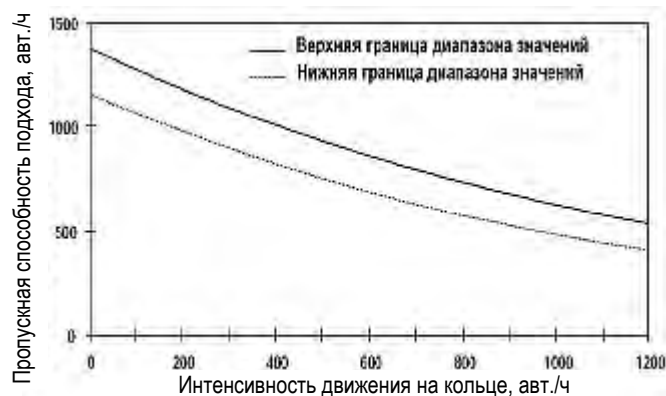


Рис. 25. Влияние принимаемых значений параметров на расчетную пропускную способность входа на кольцевое пересечение HCM 2000 [21]

Fig. 25. Effect of assumed parameter values on design capacity of traffic performance [21]

Таким образом, для снижения числа конфликтных ситуаций, предотвращения ДТП и уменьшения тяжести их последствий рекомендовано:

1. По результатам анализа причин ДТП на нерегулируемых перекрестках УДС Томска предоставить в соответствующие службы города рекомендации конкретных методов успокоения движения в районах тяготения школ, детских учреждений, нерегулируемых пешеходных переходах.

2. В микрорайонах активной жилой застройки для успокоения движения при въезде и выезде на магистральные улицы для уменьшения скорости

транспорта рекомендуется устройство мини-колец с диаметром центрального островка 4–6 м, приподнятым на 10 см, с устройством краевых полос, ширина которых может колебаться от метра и выше в зависимости от территории.

3. Продолжить обследование нерегулируемых пересечений в Томске, на которых, по данным ГИБДД, наблюдались особо тяжелые последствия ДТП, для принятия решений по применению методов успокоения движения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Стратегия социально-экономического развития* муниципального образования «Город Томск» до 2030 года // Администрация города Томска : [официальный сайт]. URL: <http://www.admin.tomsk.ru/pgs/2ph> (дата обращения: 25.09.2023).
2. *Логина М.* Почему шведские дороги самые безопасные // TravelAsk : интернет-журнал. URL: <https://travelask.ru/blog/posts/31122-pochemu-shvedskie-dorogi-samye-bezopasnye> (дата обращения: 05.10.2023).
3. *Госавтоинспекция Томской области* : [официальный сайт]. URL: <http://www.gibdd.ru> (дата обращения: 25.09.2023).
4. *Госавтоинспекция Иркутской области* : [официальный сайт]. URL: <http://38.gibdd.ru/> (дата обращения: 25.09.2023).
5. *Скубиева О.М., Пушкарева Г.В.* Обоснование единой базы нормативных документов, регламентирующих строительство и эксплуатацию городских улиц и автомобильных дорог (на примере города Томска) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 3 (62). С. 183–193.
6. *Чистяков А.С., Пушкарева Г.В., Бурлуцкий А.А.* Проблемы обеспечения видимости в условиях города // Избранные доклады 65-й юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2019. С. 294–296.
7. *Михайлов А.Ю., Лагерева Р.Ю., Шаров М.И., Зедгенизов А.В., Левашев А.Г., Липницкий А.С.* Современные кольцевые пересечения. Иркутск : Транспортная лаборатория ИрГТУ, 2009. 103 с. URL: <http://goo.gl/jhdao> (дата обращения: 25.09.2023).
8. *Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Методы успокоения движения.* Москва : НИИАТ, 2017. 74 с.
9. *Institute of Transportation Engineers* : [сайт]. URL: <http://www.ite.org/traffic/tcstate.htm> (дата обращения: 06.09.2023).
10. *TC* : [сайт]. URL: <http://www.trafficcalming.org> (дата обращения: 06.09.2023).
11. *City of Winston-Salem Traffic calming policy.* May 2005. URL: <http://www.ci.winston-salem.nc.us/DOT/trafficcalming.html> (дата обращения: 06.09.2023).
12. *Mini roundabouts.* Good practices guidance. UK Department for transport. 27 November 2006. 53 p.
13. *Липницкий А.С.* Повышение эффективности дорожного движения на основе применения компактных кольцевых пересечений : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Иркутск, 2010. 233 с.
14. *TD 16/07.* Geometric Design of Roundabouts. Design Manual for Roads and bridges. Road geometry. 2007. Volume 6. Section 2. Junctions. 51 p.
15. *TD 54/07.* Design of Mini-roundabouts. Design Manual for Roads and bridges. Road geometry. 2007. Volume 6. Section 2. Junctions. 31 p.
16. *Brilon W.* Roundabouts: a state of the art in Germany // Paper presented at the National Roundabout conference. Vail, Colorado, 2005, May 22–25. 16 p.
17. *Brilon W., Vendhey M.* Roundabouts – The State of the Art in Germany // ITE Journal. 1998. November. P. 48–54.
18. *Cowan R.J.* Adams' formula revised // Traffic Engineering and Control. 1984. V. 25. № 5. P. 272–274.
19. *Troutbeck R.J.* A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters // Traffic Engineering and Control. 1997. V. 38. № 11. P. 600–603.

20. Troutbeck R. Background for HCM Section on Analysis of Performance of Roundabouts // Transportation Research Record 1646. 1998. P. 54–62.
21. Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) // Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., U.S.A., 2000. 1134 p.

REFERENCES

1. Strategy of socio-economic development of the municipal formation "Tomsk City" until 2030. Available: www.admin.tomsk.ru/pgs/2ph (accessed September 25, 2023). (In Russian)
2. Loginova M. Why Swedish roads are the safest. Available: <https://travelask.ru/blog/posts/31122-pochemu-shvedskie-dorogi-samy-bezopasnye> (accessed October 5, 2023). (In Russian)
3. State Automobile Inspection of the Tomsk Region. Available: www.gibdd.ru (accessed September 25, 2023). (In Russian)
4. State Automobile Inspection of the Irkutsk Region. Available: <http://38.gibdd.ru/> (accessed September 25, 2023). (In Russian)
5. Skubieva O.M., Pushkareva G.V. Rationale for regulatory documents on street and road usage and construction (a Tomsk case study). *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017; 3 (62): 183–193. (In Russian)
6. Chistyakov A.S., Pushkareva G.V., Burlutskii A.A. Challenges of visibility in urban environment. In: *Proc. 65th Sci. Conf. of Students and Young Scientists*. Tomsk: TSUAB, 2019. Pp. 294–296. (In Russian)
7. Mikhailov A.Yu., Lagerev R.Yu., Sharov M.I., Zedgenizov A.V., Levashev A.G., Lipnitskii A.S. Modern traffic circles. Irkutsk, 2009. 103 p. Available: <http://goo.gl/jhdao> (data obrashcheniya: 25.09.2023). (In Russian)
8. Methodological recommendations for development and implementation of measures to organize road traffic. Moscow, 2017. 74 p. (In Russian)
9. Institute of Transportation Engineers. Available: www.ite.org/traffic/tcstate.htm (accessed September 6, 2023).
10. Traffic calming. Available: www.trafficcalming.org (accessed September 6, 2023).
11. City of Winston-Salem Traffic calming policy. May 2005. Available: www.ci.winston-salem.nc.us/DOT/trafficcalming.html (accessed September 6, 2023).
12. Mini roundabouts. Good practices guidance. UK Department for transport. 27 November 2006. 53 p.
13. Lipnitskii A.S. Improving traffic efficiency through the use of compact traffic circles. PhD Thesis. Irkutsk, 2010. 233 p. (In Russian)
14. TD 16/07. Geometric design of roundabouts. Design manual for roads and bridges. Road geometry. 2007. Vol. 6. Section 2. Junctions 51 p.
15. TD 54/07. Design of mini-roundabouts. Design manual for roads and bridges. Road geometry. 2007. Vol. 6. Section 2. Junctions 31 p.
16. Brilon W. Roundabouts: A state of the art in Germany. Paper presented at the National Roundabout Conference. Vail, Colorado, 2005, May 22–25. 16 p.
17. Brilon W., Vendhey M. Roundabouts – The state of the art in Germany. *ITE Journal*. 1998; 48–54.
18. Cowan R.J. Adams' formula revised. *Traffic Engineering and Control*. 1984; 25 (5): 272–274.
19. Troutbeck R.J. A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters. *Traffic Engineering and Control*. 1997; 38 (11): 600–603.
20. Troutbeck R. Background for HCM section on analysis of performance of roundabouts. Transportation Research Record 1646. 1998. Pp. 54–62.
21. Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000). Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., U.S.A., 2000. 1134 p.

Сведения об авторах

Пушкарева Галина Вениаминовна, канд. физ.-мат. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kedrik42@mail.ru

Халтурин Денис Дмитриевич, студент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, deniskhalturin@mail.ru

Authors Details

Galina V. Pushkareva, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kedrik42@mail.ru

Denis D. Khalturin, Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, deniskhalturin@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 29.09.2023
Одобрена после рецензирования 06.10.2023
Принята к публикации 09.10.2023

Submitted for publication 29.09.2023
Approved after review 06.10.2023
Accepted for publication 09.10.2023