

Научная статья
УДК 656.13

<https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-130>

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СПИРАЛЕВИДНОЙ РАЗМЕТКИ НА КОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В. И. Рассоха

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
e-mail: cabin2012@yandex.ru

Н. А. Никитин

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия
e-mail: NiNikitin@kantiana.ru

Аннотация. Опубликованные результаты ряда зарубежных исследований рекомендуют нанесение спиралевидной разметки для обеспечения более высокого уровня безопасности на кольцевых пересечениях автомобильных дорог среднего и большого диаметров. В ряде городов Российской Федерации эти рекомендации были реализованы практически при внедрении новых схем организации движения с использованием спиралевидной разметки линий движения по полосам. Однако объективные данные, подтверждающие эффективность указанных мероприятий в России, отсутствуют. Целью исследования ставилась оценка эффективности спиралевидной разметки по двум критериям – количеству дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и нарушений правил дорожного движения на кольцевых развязках до и после реорганизации движения. Информация была получена от ГИБДД и в результате видеонаблюдения за отдельными участками кольцевых пересечений. В результате исследования: 1) опровергнута гипотеза о снижении количества происшествий и утверждение, что новые схемы организации движения (спиралевидная разметка) сами по себе обеспечивают большую безопасность движения на кольцевых пересечениях; 2) выявлено, что водители склонны нарушать требования спиралевидной разметки, что повышает вероятность ДТП; 3) сделан вывод, что новые схемы организации движения могут оказать положительное влияние на безопасность дорожного движения только при реализации инженерных мероприятий по физическому разделению потоков транспорта на кольцевой проезжей части и снижению скорости движения транспортных средств на въездах и выездах кольцевых пересечений. Результаты работы выявили перспективные направления для дальнейших исследований: изучить взаимосвязь между траекторией движения транспортных средств, их местом с точки зрения определенных участков пересечения, спиралевидной разметкой, характеристиками транспортного потока (скорость, плотность, наличие заторов, состав потока), а также погодными условиями. Выявление подобных связей позволит оценить эффективность спиралевидной разметки и сделать выводы о целесообразности дальнейшего её применения на кольцевых пересечениях на территории Российской Федерации.

Ключевые слова: автомобильная дорога, кольцевое пересечение, спиралевидная разметка, дорожно-транспортное происшествие.

Для цитирования: Рассоха В. И., Никитин Н. А. Оценка эффективности спиралевидной разметки на кольцевых пересечениях автомобильных дорог // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 2. – С. 130–141, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-130>.

Original article

ESTIMATION OF THE EFFECTIVENESS OF SPIRAL MARKINGS AT RING ROAD INTERSECTIONS

V. I. Rassokha

Orenburg State University, Orenburg, Russia
e-mail: cabin2012@yandex.ru

N. A. Nikitin

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia
e-mail: ninikitin@kantiana.ru



Abstract. The results of a number of foreign studies recommend the application of spiral markings to ensure a higher level of safety at roundabouts of medium and large diameter highways. In a number of cities of the Russian Federation, these recommendations were implemented with the introduction of new traffic management schemes using spiral marking of traffic lanes. However, there is no objective data confirming the effectiveness of these measures in Russia. The aim of the study was to evaluate the effectiveness of spiral markings according to two criteria – the number of road accidents and traffic violations at roundabouts before and after the reorganization of traffic. The information was obtained from the traffic police and from video surveillance of individual sections of roundabouts. As a result of the study: 1) the hypothesis of a decrease in the number of accidents and the assertion that new traffic management schemes (spiral markings) by themselves provide greater traffic safety at roundabouts are refuted; 2) it is revealed that drivers tend to violate the requirements of spiral markings, which increases the likelihood of accidents; 3) it is concluded that new traffic management schemes can have a positive impact on road safety only when engineering measures are implemented to physically separate traffic flows on the ring roadway and reduce the speed of vehicles at the entrances and exits of roundabouts. The results of the work revealed promising areas for further research: to study the relationship between the trajectory of vehicles, their location from the point of view of certain intersection sites, spiral markings, characteristics of traffic flow (speed, density, congestion, flow composition), as well as weather conditions. The identification of such links will allow us to evaluate the effectiveness of spiral marking and draw conclusions about the expediency of its further use at roundabouts in the territory of the Russian Federation.

Key words: highway, roundabout, spiral marking, traffic accident.

Cite as: Rassokha, V. I., Nikitin, N. A. (2023) [Estimation of the effectiveness of spiral markings at ring road intersections]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 2, pp. 130–141, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-130>.

Введение

Концепция турбокольцевого пересечения автомобильных дорог как многополосной кольцевой развязки со спиралевидной разметкой полос движения была предложена в Нидерландах [6], после чего за рубежом проведено большое количество исследований, направленных на оценку преимуществ новой формы кольцевых пересечений [5, 9, 13].

Итальянские исследователи в работах [7, 8] подчеркивают, что преобразование существующей кольцевой развязки в турбокольцо потенциально может увеличить пропускную способность и уменьшить длины заторов и количество конфликтных ситуаций.

Исследование [11] показывает, что совершенствование системы дорожных знаков кольцевых пересечений улучшает чувство направления участников дорожного движения и повышает уровень безопасности и эффективности функционирования кольцевой развязки.

Исследование Департамента транспорта Гонконга [15] спиралевидной разметки на четырех кольцевых пересечениях показало незначительное снижение потенциальных конфликтов на кольцевых пересечениях средних размеров в условиях свободного потока. Был сделан вывод, что требуется дальнейшее изучение и дополнительная оценка эффективности спиралевидной разметки на кольцевых пересечениях в условиях связанного потока и заторовых ситуаций.

Другая группа исследователей отмечает [12], что оценка рисков является одним из ключевых элементов для дальнейшего распространения спиралевидной разметки.

Публикации отечественных исследователей [1

и др.] также не содержат однозначного подтверждения эффективности кольцевых пересечений.

По состоянию на 01 февраля 2023 года введен в действие ГОСТ Р 70555-2022, регламентирующий проектирование кольцевых пересечений, в котором отсутствуют указания по проектированию турбокольцевых пересечений. В связи с этим, изменение формы кольцевых пересечений старого типа по-прежнему является сложной задачей из-за невозможности получения положительного заключения на реконструкцию центрального островка.

Таким образом, отсутствуют объективные данные, подтверждающие эффективность рекомендуемых мероприятий в отечественной практике.

Гипотезу, на проверку которой направлено исследование, можно сформулировать следующим образом: может ли спиралевидная разметка обеспечить более высокий уровень безопасности на кольцевых пересечениях среднего и большого размеров. Целью исследования ставилась оценка эффективности спиралевидной разметки. Было принято решение оценку производить по двум критериям – количеству ДТП и нарушений правил дорожного движения на кольцевых развязках до и после реорганизации движения с помощью нанесения спиралевидной разметки.

Задачи и используемые методы исследования

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) определить местоположение дорожно-транспортных происшествий (ДТП) до и после внедрения новой схемы организации дорожного движения;
- 2) определить долю водителей, не соблюдающих требования разметки;

- 3) выявить условия, при которых водители не соблюдают требования разметки;
- 4) проверить выдвинутую гипотезу;
- 5) определить направления дальнейших исследований.

Для решения поставленных задач были использованы следующие источники информации и методы исследования:

- обезличенные данные из базы данных Государственной инспекции безопасности дорожного движения (ГИБДД) о ДТП с погибшими, пострадавшими и без пострадавших;
- визуализация актуальных ДТП на картографической подложке путём применения средств автоматической обработки информации на основе реляционной базы данных MySQL и модуля 1С.Bitrix;
- составление карт ДТП и сравнение их количества за выбранные временные интервалы;
- применение средств видеонаблюдения для оценки траектории движения транспортных средств, в том числе поиск нарушений требований разметки для движения по полосам;
- количественная оценка и сравнение траекторий движения в условиях свободного потока и при заторовых ситуациях.

Характеристика исследуемых узлов улично-дорожной сети

На территории Калининграда и области соору-

жено более 20 кольцевых пересечений, из которых лишь одно является однополосным, а остальные – многополосными. Вместе с тем ряд международных исследований показывает, что уровень безопасности дорожного движения на многополосных кольцевых пересечениях значительно ниже, чем на однополосных.

В связи с ростом интенсивности дорожного движения и увеличением количества ДТП на кольцевых пересечениях, администрацией Калининграда было принято решение об изменении организации движения на наиболее загруженных кольцевых пересечениях. В условиях отсутствия средств на капитальную реконструкцию было предложено использовать новые схемы организации движения с относительно простой и недорогой реализацией, а именно нанесение спиралевидной разметки на кольцевой проезжей части.

Анализ был сосредоточен на двух кольцевых пересечениях, на которых в период с конца 2019 года по настоящее время используется спиралевидная разметка (рисунок 1). Данные пересечения не являются местами концентрации ДТП, однако в результате предыдущих исследований [2, 4] было выявлено, что на кольцевых пересечениях Калининградской области более 80% ДТП не приводят к травмам, что фактически исключает их из официальной статистики.

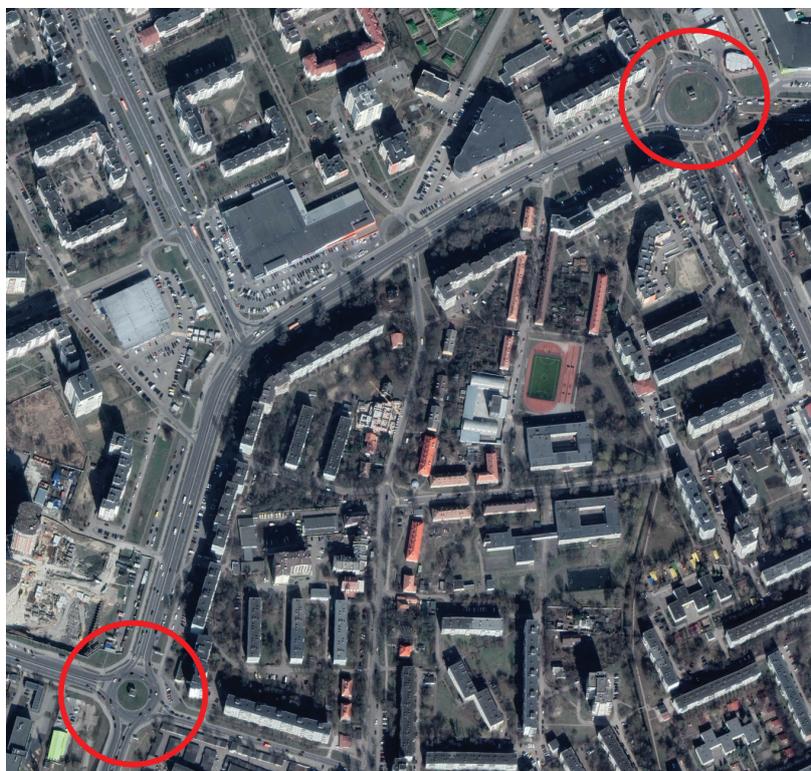


Рисунок 1. Местоположение исследуемых кольцевых пересечений

Источник: разработано авторами на основе Google Earth

Исследуемые кольцевые пересечения являются важными узлами транспортной системы, так как связывают крупный жилой район с центральной частью города. В рабочие дни в утренние и вечерние «часы пик» можно регулярно наблюдать заторы на подходах к пересечениям, а также непосредственно на кольцевой проезжей части.

Согласно измерениям транспортных потоков, проводимых в течение недели, в 2015 году через кольцевое пересечение Гайдара-Горького проезжало не менее 3100 транспортных средств в час, а через пересечение Гайдара-Челнокова – почти 3500 транспортных средств в час.

Пропускная способность обоих кольцевых пересечений была исчерпана уже в 2015 году [3], что является одной из причин систематического возникновения заторов в утренние и вечерние «часы пик».

На исследуемых пересечениях имеется большое количество маршрутов общественного транспорта, в том числе одно из колец является разворотным для троллейбуса. Замеры транспортных потоков показали, что на общественный транспорт приходится 5%, а на грузовой – 4% от общего транспортного потока на кольцевых пересечениях. Общее количество пешеходов по всем направлениям в рабочий день на кольцевом пересечении Гайдара-Горького составило в среднем более 950 человек в час, а на кольце Гайдара-Челнокова – более 700 человек в час. Приведённые выше данные помогают сформировать представление о транспортных и пешеходных потоках на пересечениях, которые оказывают существенное влияние на уровень безопасности дорожного движения.

Характеристики кольцевых пересечений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Геометрические характеристики пересечений

Наименование	Радиус островка	Внешний радиус
Гайдара-Челнокова	18 метров	32,5 метра
Гайдара-Горького	29 метров	40 метров

Источник: разработано авторами

По классификации СП 42.13330.2016 «СНиП 2.07.01-89 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» улицы, примыкающие к пересечениям, относятся к следу-

ющим типам (рисунок 2): улицы Гайдара и Горького – магистральные улицы общегородского значения 2-го класса; улица Челнокова – магистральная улица районного значения.

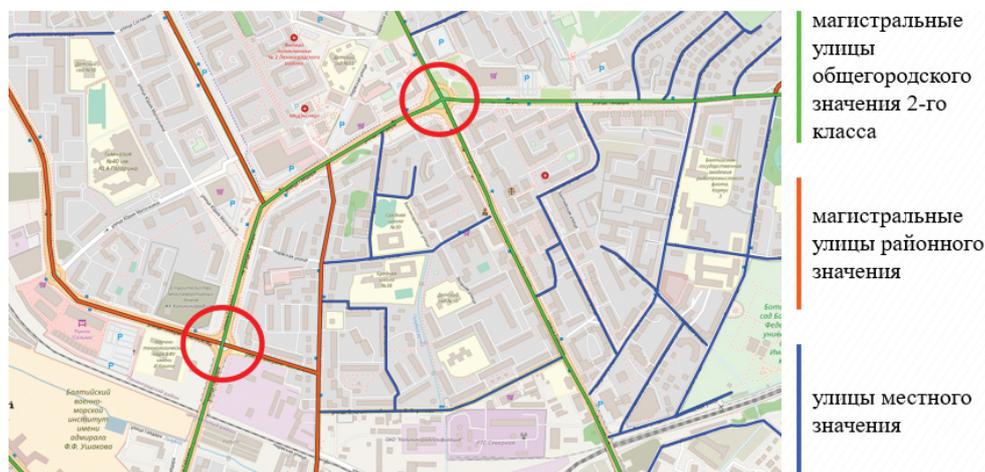


Рисунок 2. Категории улиц в соответствии с Генеральным планом г. Калининграда

Источник: разработано авторами на основе NextGIS

Таким образом, кольцевые пересечения являются узлами улично-дорожной сети, расположенными на магистральных улицах, предназначенных для пропуска потоков транспорта большого жилого микрорайона.

Категории улиц являются основанием, по ко-

торому выбирают конфигурацию пересечения при проектировании. Однако, если следовать рекомендациям СП 42.13330.2016, то для данных пересечений требуется наличие светофорного регулирования. Ранее используемые схемы организации движения представлены на рисунках 3–4.

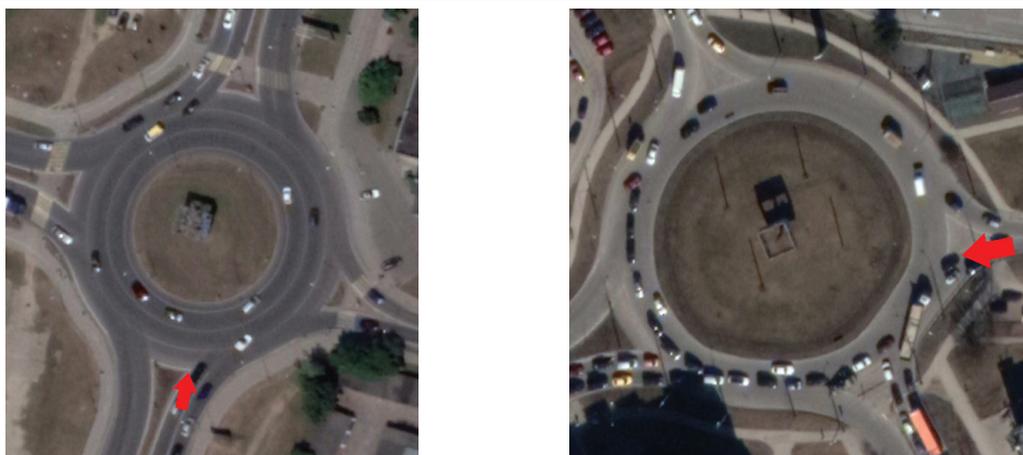


Рисунок 3. Кольцевые пересечения до изменения разметки: Гайдара-Челнокова (слева) и Гайдара-Горького (справа)

Источник: разработано авторами на основе Google Earth



Рисунок 4. Кольцевые пересечения до изменения разметки: Гайдара-Челнокова (сверху) и Гайдара-Горького (снизу)

Источник: разработано авторами на основе Google Earth

По периметру кольцевых пересечений расположены пешеходные переходы, отнесённые от кольцевой проезжей части на расстояние 4–15 метров, что значительно ниже рекомендуемых значений [14]. До изменения организации дорожного движения кольцевая проезжая часть обоих кольцевых пересечений разделялась на три полосы движения разметкой 1.7, что позволяло транспортным средствам перестраиваться в любом месте проезжей части, что приводило к хаотичному движению и конфликтам,

особенно в зонах переплетения транспортных потоков и на выездах с колец.

Спиралевидная разметка представлена разметкой типов 1.2, 1.7 и 1.18. Одной из основных проблем, которую была призвана решить спиральная конфигурация разметки – это канализирование движения транспортных средств на кольцевой проезжей части, особенно в зонах переплетения транспортных потоков.

Изменения в организации дорожного движения

На основании зарубежного опыта были разра-

ботаны схемы организации дорожного движения, представленные на рисунках 5–6.



Рисунок 5. Обновлённые схемы организации движения, действующие с конца 2019 года: Гайдара-Челнокова (слева) и Гайдара-Горького (справа)

Источник: разработано авторами на основе Google Earth



Рисунок 6. Обновлённые схемы организации движения, действующие с конца 2019 года: Гайдара-Челнокова (сверху) и Гайдара-Горького (снизу)

Источник: разработано авторами на основе Google Earth

Базовая концепция турбокольцевого пересечения предусматривает, что при приближении к такому пересечению водитель заранее выбирает полосу движения в зависимости от желаемого выезда. Однако в текущей схеме организации дорожного движения на примыкающих улицах отсутствуют знаки и разметка, предписывающие двигаться по определённым полосам.

В качестве средства информирования водителей на исследуемых пересечениях используется знак

4.3 «Круговое движение», который разрешает движение в указанном стрелками направлении (против часовой стрелки).

Таким образом, водитель узнаёт о направлениях движения по полосам исключительно при движении по кольцевой проезжей части. Учитывая исследования [10], которые показали, что водитель испытывает повышенную психологическую нагрузку при пересечении кольцевых развязок, подобное отсутствие информирования участников

дорожного движения снижает уровень безопасности дорожного движения.

После введения новых схем организации движения обе кольцевые развязки в зависимости от сегмента имеют две или три полосы движения на кольцевой проезжей части с двумя линиями съезда независимо от количества полос на примыкающей улице. Разметка на кольцевой проезжей части нанесена линиями 1.7, что обеспечило четкие траектории за счет сужения проезжей части, но не исключило возможность перестроения в зонах переплетения транспортных потоков.

Сравнение моделей дорожно-транспортных происшествий

В России участники дорожного движения не обязаны вызывать полицию и могут оформить

документы самостоятельно, если во время аварии нет пострадавших или погибших, в аварии участвуют два транспортных средства и водители договариваются об обстоятельствах ДТП. Это означает, что только часть происшествий регистрируется в базе данных ГИБДД. Остальные происшествия без пострадавших и погибших регистрируются частными страховыми компаниями путем заполнения соответствующего протокола.

На данный момент предоставить информацию о ДТП, имеющихся в распоряжении страховых компаний, может Российский союз автостраховщиков (РСА). Однако данные, которые содержатся в базе данных РСА, не в полной мере соответствуют задачам исследования. Пример данных представлен в таблице 2.

Таблица 2. Пример информационной записи о ДТП

Наименование данных	Формат данных
Полис виновника	XXXXXXXXXXXXX (13-значный номер)
Дата ДТП	2021-03-31 12:10:00
Адрес ДТП (текст)	Калининградская обл.
Адрес ДТП (ФИАС)	90c7181e-724f-41b3-b6c6-bd3ec7ae3f30
Адрес ДТП (код региона)	39
Марка ТС виновника	Peugeot
Модель ТС виновника	207
Год ТС виновника	2010
Категория ТС виновника	В
Возраст водителя виновника	
Стаж водителя виновника	20
Марка ТС потерпевшего	Renault
Модель ТС потерпевшего	SYMBOL
Год ТС потерпевшего	2006
Категория ТС потерпевшего	В
Категория потерпевшего	Водитель/пассажир

Источник: разработано авторами

Результаты анализа базы данных РСА показывают, что записи о происшествиях не позволяют определить точное местоположение и обстоятельства, которые привели к возникновению ДТП. Таким образом, требуется обогащение дополнительной информацией, такой как сведения о погодных условиях в местности, прилегающей к адресу происшествия, схема организации дорожного движения на участке ДТП и точное местоположение транспортных средств на проезжей части до и после аварии.

В связи с указанными выше причинами для сбора информации о ДТП использовались открытые источники, включающие в себя профильные автомобильные сообщества, новостные порталы и данные ГИБДД о ДТП без пострадавших. Результаты представлены в таблице 3 и на рисунках 7–8. За наблюдаемый период (2015–2021 гг.) несчастных случаев со смертельным исходом не было зафиксировано.

Таблица 3. ДТП на кольцевых пересечениях

Пересечение	Количество ДТП		
	с пострадавшими с 2015 по 2019 гг.	с пострадавшими с 2020 по 2022 гг.	с материальным ущербом
Гайдара – Горького	3	4	45
Гайдара – Челнокова	5	3	31

Источник: разработано авторами

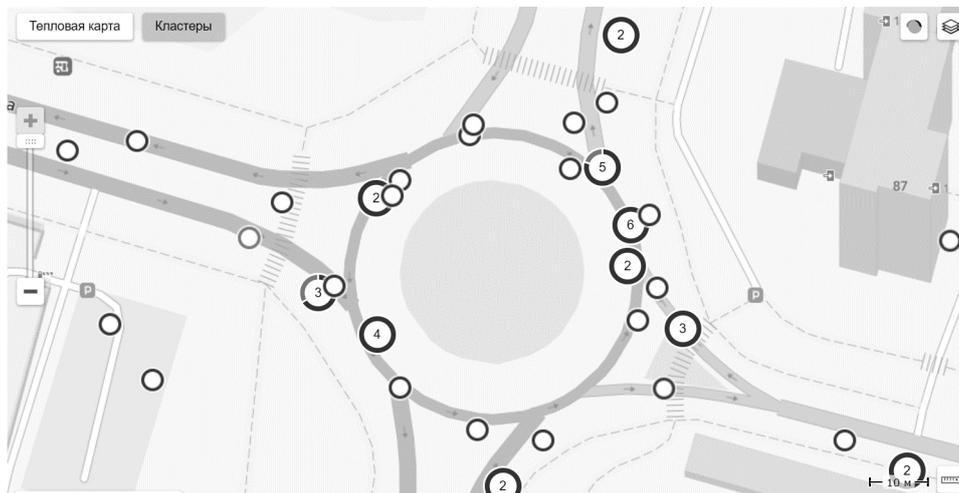


Рисунок 7. Местоположение происшествий с пострадавшими (светло-серые) и без пострадавших (чёрные) на пересечении Гайдара-Челнокова за период с 2020 по 2022 гг.

Источник: разработано авторами на основе Яндекс.Карт, MySQL и 1С.Bitrix

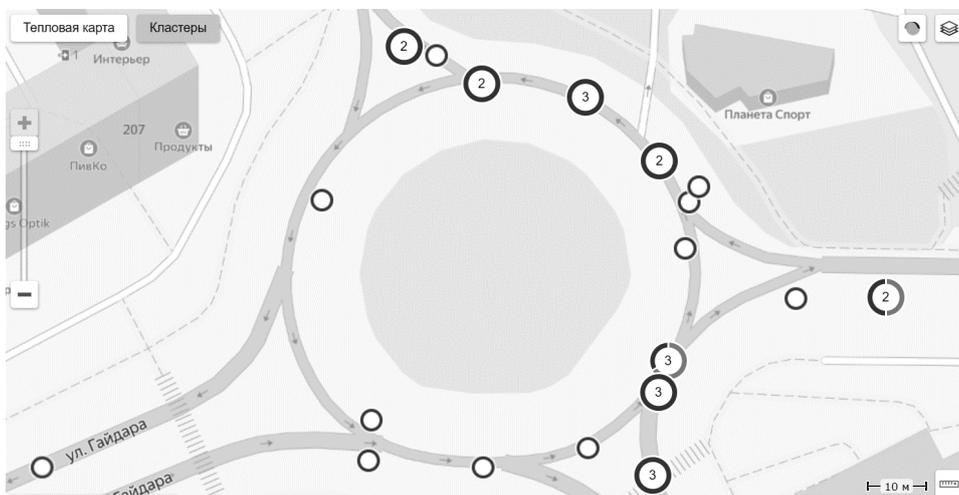


Рисунок 8. Местоположение происшествий с пострадавшими (светло-серые) и без пострадавших (чёрные) на пересечении Гайдара-Горького за период с 2020 по 2022 гг.

Источник: разработано авторами на основе Яндекс.Карт, MySQL и 1С.Bitrix

Для привязки ДТП используется схема разделения кольцевых пересечений на участки (рисунок 9) [3].

Анализ происшествий с пострадавшими дает следующие результаты.

1. На пересечении Гайдара-Челнокова как до,

так и после изменения разметки происходят наезды на пешеходов в зонах 2 и 7, таким образом, спиралевидная разметка не оказала влияния на безопасность пешеходов в зонах пешеходных переходов.

2. На обоих пересечениях наблюдается концентрация происшествий без пострадавших в зо-

нах 2 и 7 по всем примыкающим улицам. В случаях ДТП в зонах 2 и 7 преобладающими нарушениями, которые привели к столкновению, являются несоблюдение очерёдности проезда и неправильный выбор дистанции, что позволяет сделать вывод о том, что канализирование движения с помощью разметки в зонах въезда и выезда кольцевых пересечений недостаточно эффективно.

3. Наблюдается концентрация происшествий

с материальным ущербом в зонах 3, 4, 5 и 6, то есть в зонах, в которых на многополосных пересечениях наблюдается слияние, переплетение и разделение потоков транспортных средств. Имеющиеся данные о происшествиях не позволяют точно определить характер ДТП, однако факт того, что большое количество происшествий происходит в указанных местах, позволяет утверждать, что спиралевидная разметка имеет недостаточную эффективность.

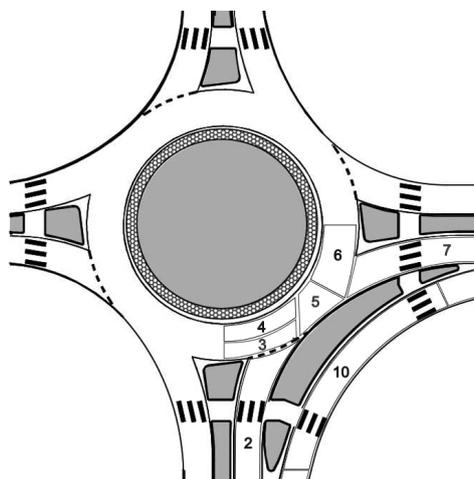


Рисунок 9. Зоны кольцевой проезжей части
Источник: разработано авторами на основе paint.net

В ДТП без пострадавших во все периоды преобладают наезды сзади и боковые удары.

На пересечении Гайдара-Челнокова также не был выявлен эффект снижения количества ДТП.

Таким образом, исходная гипотеза о снижении количества происшествий не подтвердилась на практическом уровне, и утверждение, что новые схемы организации движения (спиралевидная разметка) сами по себе обеспечивают большую безопасность движения на кольцевых пересечениях, не согласуется с данными о ДТП.

Анализ траекторий движения транспортных средств на кольцевой проезжей части

С целью определения того, какой эффект может оказывать спиралевидная разметка, а также выявления причин, почему зафиксированное зарубежными исследованиями снижение ДТП не подтверждается в отечественных условиях, посредством видеосъёмки была произведена оценка соблюдения транспортными средствами траекторий движения.

Разметка на кольцевой проезжей части нанесена линиями 1.7, что обеспечило четкие траектории за счет сужения проезжей части, но не исключило возможность перестроения в зонах переплетения транспортных потоков.

Исследования многополосных кольцевых пересечений показывают, что водители в условиях сво-

бодного движения ведут себя следующим образом:

- 1) более 40% водителей въезжают на кольцо по правой полосе, двигаются по максимально прямой траектории, пересекая левую полосу на кольцевой проезжей части;
- 2) более 20% водителей, использующих для въезда левую полосу, двигаются на выезд через крайнюю правую полосу, игнорируя требования разметки и знаков. Подобное поведение напрямую связано с отклонением траектории движения на кольцевой проезжей части.

По результатам наблюдений были выявлены следующие показатели по нарушению движения по полосам от общего числа транспортных средств, зафиксированных в период наблюдения (таблица 4).

Результаты наблюдения показывают, что в условиях отсутствия поблизости других транспортных средств, водители не склонны соблюдать требования разметки и двигаться по максимально прямой траектории с целью уменьшения количества манёвров.

Для выявления математических зависимостей между плотностью транспортного потока и количеством транспортных средств, соблюдающих требования спиралевидной разметки, требуется увеличение длительности периода наблюдений, а также автоматизация посредством применения нейронных сетей, настроенных на сохранение траекторий движения объектов, распознанных в кадре.

Таблица 4. Статистика нарушений требований спиралевидной разметки

Зона	Свободный поток	Связанный поток / затор
3 и 4	78 %	18 %
5	85 %	12 %
6	82 %	15 %

Источник: разработано авторами

Заключение

Результаты исследования показали, что новые схемы организации движения могут оказать положительное влияние на безопасность дорожного движения только при реализации инженерных мероприятий по физическому разделению потоков транспорта на кольцевой проезжей части в связи с тем, что водители склонны нарушать требования спиралевидной разметки, а это, в свою очередь, влияет на вероятность ДТП. Также требуется разработать дополнительные меры по снижению скорости транспортных средств на въездах и выездах кольцевых пересечений и по повышению безопасности пешеходов, в первую очередь смещение пешеходных переходов от кольцевых пересечений на

расстояние не менее 20 метров.

Результаты исследования выявили перспективные направления для дальнейших исследований: дополнительное изучение взаимосвязи между траекторией движения транспортных средств, их местом с точки зрения определенных участков пересечения, спиралевидной разметкой, характеристиками транспортного потока, такими как скорость, плотность, наличие заторов, состав потока, а также погодными условиями.

Выявление подобных связей позволит оценить эффективность спиралевидной разметки и сделать вывод о целесообразности дальнейшего её применения на кольцевых пересечениях на территории Российской Федерации.

Литература

1. Косцов А. В., Михайлов А. Ю. Современные кольцевые пересечения: зарубежный опыт: монография. – М.: А-проджект, 2018. – 106 с.
2. Рассоха В. И., Никитин Н. А. Преобразование обычного кольцевого пересечения автомобильной дороги в турбокольцевое: сравнение пропускной способности // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 6. – С. 153–162. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2020-6-153>. – EDN: DGOSPS.
3. Рассоха В. И., Никитин Н. А. Обзор методов оценки пропускной способности кольцевых пересечений // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2020. – № 3. – С. 31–37. – EDN: OUSSHJ.
4. Рассоха В. И., Никитин Н. А. Определение зависимости вида ДТП от участка кольцевого пересечения // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 4 (1). – С. 70–79. – [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-1\(79\)-4-70-79](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-70-79). – EDN: PVYRUK.
5. Engelsman J. C., Uken M. (2007) Turbo roundabouts as an alternative to two lane roundabouts, *26th Annual Southern African Transport Conference, South Africa, 9–12 July 2007*, pp. 581–589. (In Eng.).
6. Fortuijn L. G. H. (2009) Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance, *Transportation Research Record*, Vol. 2096, Is. 1, pp. 16–24, <https://doi.org/10.3141/2096-03>. (In Eng.).
7. Gallelli V., Iuele T., Vaiana R. (2016) Conversion of a Semi-two Lanes Roundabout into a Turbo-roundabout: A Performance Comparison, *Procedia Computer Science*. Vol. 83, pp. 393–400, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.201>. (In Eng.).
8. Gallelli V., Vaiana R. (2019) Safety Improvements by Converting a Standard Roundabout with Unbalanced Flow Distribution into an Egg Turbo Roundabout: Simulation Approach to a Case Study, *Sustainability*, Vol. 11, Is. 2, pp. 466, <https://doi.org/10.3390/su11020466>. (In Eng.).
9. Giuffrè O., Granà A., Marino S. (2012) Comparing Performances of Turbo-roundabouts and Double-lane Roundabouts, *Modern Applied Science*. Vol. 6. No. 10, pp. 70–79, <https://doi.org/10.5539/mas.v6n10p70>. (In Eng.).
10. Moutchou F., Cherkaoui A. (2017) Analysis of drivers' errors at roundabouts in Morocco, *MATEC Web of Conferences*. Vol. 124. Art. Num. 04008, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712404008>. (In Eng.).
11. Pratelli A., Sechi P., Souleyrette R. R. (2018) Upgrading Traffic Circles to Modern Roundabouts to Improve Safety and Efficiency – Case Studies from Italy, *Promet – Traffic & Transportation*, Vol. 30. No. 2, pp. 217–229, <https://doi.org/10.7307/ptt.v30i2.2571>. (In Eng.).
12. Russo F., Antonio Biancardo S., Veropalumbo R. (2020) Analytical Assessment of Effective Maintenance Operations on At-Grade Unsignalized Intersections, *Transportation Systems Analysis and Assessment. IntechOpen*, <https://doi.org/10.5772/intechopen.86435>. (In Eng.).

13. Tomaž T. (2015) *Alternative Types of Roundabouts*, Springer Cham, 206 p, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-09084-9>. (In Eng.).
14. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2010) *Roundabouts: An Informational Guide – Second Edition*. Washington, DC: The National Academies Press, 396 p. <https://doi.org/10.17226/22914>. (In Eng.).
15. Wong S. C. et al. (2012) Performance Evaluations of the Spiral-Marking Roundabouts in Hong Kong. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 138, Is. 11, pp. 1377–1387, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000433). (In Eng.).

References

1. Kostsov, A. V., Mikhailov, A. Y. (2018) *Sovremennye kol'cevye peresecheniya: zarubezhnyj opyt: monografiya* [Modern roundabouts: foreign experience: monograph]. Moscow: A- project, 2018, 106 p.
2. Rassokha, V. I., Nikitin, N. A. (2020) [Transformation of an ordinary ring road intersection into a turbo ring intersection: bandwidth comparison]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intelligence. Innovations. Investment]. Vol. 6, pp. 153–162, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2020-6-153>. (In Russ.).
3. Rassokha, V. I., Nikitin, N. A. (2020) [Review of roundabout capacity calculation methods]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa* [Technical and technological problems of the service]. Vol. 3, pp. 31–37. (In Russ.).
4. Rassokha, V. I., Nikitin, N. A. (2022) [Determination of dependence of the road accident type on the segment of roundabout]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [World of transport and technological machines]. Vol. 4–1(79), pp. 70–79, [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-1\(79\)-4-70-79](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-70-79). (In Russ.).
5. Engelsman, J. C., Uken, M. (2007) Turbo roundabouts as an alternative to two lane roundabouts. *26th Annual Southern African Transport Conference, South Africa, 9–12 July 2007*, pp. 581–589. (In Eng.).
6. Fortuijn, L. G. H. (2009) Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance. *Transportation Research Record*, Vol. 2096, Is. 1, pp. 16–24, <https://doi.org/10.3141/2096-03>. (In Eng.).
7. Gallelli, V., Iuele, T., Vaiana, R. (2016) Conversion of a Semi-two Lanes Roundabout into a Turbo-roundabout: A Performance Comparison. *Procedia Computer Science*. Vol. 83, pp. 393–400, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.201>. (In Eng.).
8. Gallelli, V., Vaiana, R. (2019) Safety Improvements by Converting a Standard Roundabout with Unbalanced Flow Distribution into an Egg Turbo Roundabout: Simulation Approach to a Case Study. *Sustainability*, Vol. 11, Is. 2, pp. 466, <https://doi.org/10.3390/su11020466>. (In Eng.).
9. Giuffrè, O., Granà, A., Marino, S. (2012) Comparing Performances of Turbo-roundabouts and Double-lane Roundabouts. *Modern Applied Science*. Vol. 6, No. 10, pp. 70–79, <https://doi.org/10.5539/mas.v6n10p70>. (In Eng.).
10. Moutchou, F., Cherkaoui, A. (2017) Analysis of drivers' errors at roundabouts in Morocco. *MATEC Web of Conferences*. Vol. 124, Art. Num. 04008, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712404008>. (In Eng.).
11. Pratelli, A., Sechi, P., Souleyrette, R. R. (2018) Upgrading Traffic Circles to Modern Roundabouts to Improve Safety and Efficiency – Case Studies from Italy. *Promet – Traffic&Transportation*, Vol. 30, No. 2, pp. 217–229, <https://doi.org/10.7307/ptt.v30i2.2571>. (In Eng.).
12. Russo, F., Antonio Biancardo, S., Veropalumbo, R. (2020) Analytical Assessment of Effective Maintenance Operations on At-Grade Unsignalized Intersections. *Transportation Systems Analysis and Assessment. IntechOpen*, <https://doi.org/10.5772/intechopen.86435>. (In Eng.).
13. Tomaž, T. (2015) *Alternative Types of Roundabouts*. Springer Cham, 206 p, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-09084-9>. (In Eng.).
14. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2010) *Roundabouts: An Informational Guide – Second Edition*. Washington, DC: The National Academies Press, 396 p, <https://doi.org/10.17226/22914>. (In Eng.).
15. Wong, S. C. et al. (2012) Performance Evaluations of the Spiral-Marking Roundabouts in Hong Kong. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 138, Is. 11, pp. 1377–1387, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000433). (In Eng.).

Информация об авторах:

Владимир Иванович Рассоха, доктор технических наук, доцент, декан транспортного факультета, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ORCID ID: 0000-0002-7836-2242, **Researcher ID:** M-3242-2017, **Scopus Author ID:** 57193742928

e-mail: cabin2012@yandex.ru

Николай Андреевич Никитин, старший преподаватель кафедры машиноведения и технических систем, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия
ORCID ID: 0000-0002-8512-7662, **Researcher ID:** ABB-5779-2020, **Scopus Author ID:** 57193746390
e-mail: ninikitin@kantiana.ru

Вклад соавторов:

Рассоха В. И. – формирование первичной структуры исследования, структурирование материалов и обобщение результатов, оформление рукописи.

Никитин Н. А. – постановка цели и задач исследования, обзор литературных источников, проведение экспериментальных исследований, интерпретация результатов исследования, оформление рукописи.

Конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила в редакцию: 30.01.2023; принята в печать: 23.03.2023.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Vladimir Ivanovich Rassokha, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Transport, Orenburg State University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0002-7836-2242, **Researcher ID:** M-3242-2017, **Scopus Author ID:** 57193742928
e-mail: cabin2012@yandex.ru

Nikolai Andreevich Nikitin, Senior Lecturer of the Department of Mechanical Engineering and Technical Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

ORCID ID: 0000-0002-8512-7662, **Researcher ID:** ABB-5779-2020, **Scopus Author ID:** 57193746390
e-mail: ninikitin@kantiana.ru

Contribution of the authors:

Rassokha V. I. – formation of the primary structure of the study, structuring of materials and generalization of the results, manuscript preparation.

Nikitin N. A. – setting the goal and objectives of the study, literature review, realization of experimental studies, interpretation of research findings, manuscript preparation.

There is no conflict of interest.

The paper was submitted: 30.01.2023.

Accepted for publication: 23.03.2023.

The authors have read and approved the final manuscript.