

---

---

# ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

DOI: 10.25198/2077-7175-2020-6-153

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОБЫЧНОГО КОЛЬЦЕВОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В ТУРБОКОЛЬЦЕВОЕ: СРАВНЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

**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.** В крупных городах часто складывается ситуация, когда кольцевые пересечения автомобильных дорог перестают справляться с пропуском транспортных потоков. Основными причинами данной проблемы являются несоответствие потенциальной пропускной способности кольцевой развязки реальным транспортным потокам, а также отсутствие у водителей знаний и навыков движения по кольцевой проезжей части. Для уменьшения влияния человеческого фактора предлагаются различные решения, но, как показала практика, наиболее эффективными являются канализированные кольцевые развязки или «турбокольца». Особенностью подобной конфигурации проезжей части является предсказуемость поведения водителей благодаря физическому разделению полос для движения. В ряде стран уже введены в эксплуатацию турбокольцевые пересечения, что позволило подтвердить предполагаемые преимущества такой конфигурации: отсутствие манёвров перестроения на кольцевой проезжей части, необходимость уступать дорогу максимум двум транспортным потокам, снижение средней скорости проезда по кольцевому пересечению. Целью данного исследования ставилось проведение сравнения производительности существующего трёхполосного пересечения, характеризующегося преобладанием левоповоротного потока в часы пик, и разработанного проекта турбокольцевой развязки. Эмпирические данные о транспортных потоках и длине очередей, а также матрица корреспонденций использовались для калибровки компьютерной микромодели. Микромоделирование проводилось посредством: задания матрицы корреспонденций с учётом распределения транспортного потока во времени; задания правил приоритета, скорости приближения к пересечению и зон снижения скорости; разработки сценариев для анализа утреннего и вечернего часов пик, колебаний транспортных потоков во времени. Сравнение производительности проводилось для узла в целом, а также для отдельных наиболее нагруженных направлений по средней и максимальной длинам затора, среднему времени задержки и времени простоя. Для оценки производительности пересечений было предложено использовать иностранные методики оценки пропускной способности, основанные на математических моделях Бови, Хагрина и Фортайна. Выявлено, что преобразование существующего кольцевого пересечения в турбокольцо позволило не только увеличить пропускную способность узла, но и уменьшить заторы на въездах и выездах, что определяет практическую значимость проведенного исследования. Следующим этапом исследования планируется изучение возможности интегрирования методики оценки пропускной способности, рассмотренной в статье, в отечественную методику выбора типа пересечений, лежащую в основе нормативно-технических документов. Конечной целью исследования планируется создание новой методики оценки пропускной способности кольцевых пересечений разных типов, в том числе учитывающей особенности функционирования кольцевых пересечений на территории Российской Федерации.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, кольцевое пересечение, турбокольцевое пересечение, микромоделирование, пропускная способность.

**Для цитирования:** 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. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-6-153.

---

---

## TRANSFORMATION OF AN ORDINARY RING ROAD INTERSECTION INTO A TURBO RING INTERSECTION: BANDWIDTH COMPARISON

**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.** In large cities, a situation often arises when roundabout intersections of highways no longer cope with the passage of traffic flows. The main reasons for this problem are the inconsistency of the potential traffic capacity of the roundabout with real traffic flows, as well as the lack of knowledge and skills of drivers on the roundabout carriageway. To reduce the influence of the human factor, various solutions are proposed, but, as practice has shown, ducted roundabouts or «turbo rings» are the most effective. A feature of this configuration of the carriageway is the predictability of driver behavior due to the physical separation of lanes for traffic. In a number of countries, turbo ring intersections have already been put into operation, which made it possible to confirm the alleged advantages of this configuration: the absence of changeover maneuvers on the ring carriageway, the need to give way to a maximum of two traffic flows, and a decrease in the average travel speed along the ring intersection. The aim of this study was to compare the performance of the existing three-lane intersection, characterized by a predominance of left-hand turn flow during rush hours, and the developed design of the turbo ring interchange. Empirical data on traffic flows and length of queues, as well as a matrix of correspondences, were used to calibrate the computer micromodel. Micromodeling was carried out by means of: specifying the matrix of correspondences, taking into account the distribution of the traffic flow in time; setting the rules of priority, speed of approach to the intersection and speed reduction zones; development of scenarios for the analysis of morning and evening rush hours, fluctuations in traffic flows in time. Performance comparisons were made for the node as a whole, as well as for the selected busiest routes in terms of average and maximum congestion lengths, average latency and downtime. To assess the performance of the intersections, it was proposed to use foreign methods for assessing the capacity based on the mathematical models of Bowie, Hagring and Fortine. It was revealed that the transformation of the existing circular intersection into a turbo ring made it possible not only to increase the throughput of the node, but also to reduce congestion at the entrances and exits, which determines the practical significance of the study. To study the possibility of integrating the methodology for assessing the throughput, considered in the article, into the domestic method for choosing the type of intersections, which is the basis of regulatory and technical documents. The ultimate goal of the study is to create a new methodology for assessing the throughput of circular intersections of various types, including taking into account the peculiarities of the functioning of circular intersections on the territory of the Russian Federation.

**Key words:** highway, roundabout, turbo-roundabout, microsimulation, roundabout capacity.

**Cite as:** Rassokha, V. I., Nikitin, N. A. (2020) [Transformation of an ordinary ring road intersection into a turbo ring intersection: bandwidth comparison]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 6, pp. 153–162. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-6-153.

### Введение

В различных исследованиях кольцевые развязки автомобильной дороги неоднократно признавались более безопасными и эффективными, чем стандартные нерегулируемые пересечения [2, 8, 14, 21, 23, 26]. Развитие теории проектирования многополосных кольцевых пересечений привело к появлению спиралевидной конфигурации проезжей части, которая позволила поднять уровень безопасности и эффективности кольцевых развязок на новый уровень [5, 9, 20]. Многополосное кольцо позволяет увеличить пропускную способность узла улично-дорожной сети в условиях высокой интенсивности движения. Однако с увеличением числа

полос происходит рост количества манёвров при проезде по кольцевой проезжей части, что увеличивает вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий. Также водители склонны уменьшать кривизну траектории для увеличения скорости движения.

Предыдущие исследования кольцевых пересечений показывают, что водители в условиях свободного потока ведут себя следующим образом [1, 18]:

– более 40 % водителей, въезжающих на кольцо с правой (внешней) полосы, прокладывают маршрут по наиболее прямой траектории, что ведёт к пересечению крайней левой (внутренней) полосы кольцевой проезжей части;

– более 20% водителей, движущихся по внутренней или средней полосе многополосного кольца, выезжают без перестроения на внешнюю полосу, игнорируя требования дорожных знаков, разметки и правил дорожного движения; указанные проблемы возникают из-за геометрических особенностей кольцевой проезжей части [14].

В этой связи, возникла необходимость в изменении подходов к проектированию, в которых были бы заложены уширения проезжей части и зон пересечения потоков на въездах и выездах. Спиралевидные кольцевые пересечения являются развитием конструкции многополосных кольцевых развязок для обеспечения уровня безопасности, сопоставимого с однополосными кольцами. Впервые такая конфигурация была предложена в Нидерландах L. G. H. Fortuijn [5] в 1996 году с целью снижения влияния указанных выше проблем, а также увеличения эффективности без ущерба для безопасности дорожного движения. Ключевой особенностью турбоколец является спиралевидная проезжая часть с физическими разделителями полос для движения. Такое решение вынуждает водителей заранее выбирать маршрут для движения, что позволяет снизить количество точек конфликтов потоков и делает движение автомобилей более предсказуемым [3, 7, 25].

С учётом вышеупомянутых преимуществ, в данной статье был предложен проект замены существующей одноуровневой трёхполосной кольцевой развязки на турбокольцевую [15, 16]. Целью исследования ставилось проведение сравнения производительности исходного и предлагаемого вариантов.

### **Обзор литературы**

Различные исследования, проводимые ранее, подтвердили преимущества внедрения турбокольцевых пересечений вместо обычных кольцевых. В частности, R. Maug и M. Cattani оценивали [12] повышение уровня безопасности движения по турбокольцу с помощью модели потенциальной аварийности, основанной на концепции возможного конфликта. Были рассмотрены различные группы дорожно-транспортных происшествий, которые обычно происходят на кольцевых пересечениях, например, несоблюдение правил приоритета или дистанции до впереди идущего транспортного средства и столкновения на выездах. Результаты показали, что при применении турбокольцевой конфигурации количество дорожно-транспортных происшествий уменьшается на 40–50%. Последующие исследования тех же авторов при участии M. Guerrieri [13] подтвердили данные выводы, также была подчеркнута эффективность турбоколец в местах с высокой интенсивностью пешеходных и велосипедных потоков.

Согласно сравнительному анализу, проведённому изобретателем турбокольцевой развязки L. G. H. Fortuijn [5], уровень безопасности спирале-

видных кольцевых пересечений сопоставим с таковым у однополосных пересечений, что в отдельных случаях приводило к снижению количества дорожно-транспортных происшествий на 60% и более.

В исследованиях других группы учёных [25] были подтверждены выводы об увеличении уровня безопасности за счёт снижения числа конфликтных точек. Однако было отмечено, что турбокольцевые развязки обеспечивают лучшую производительность только в тех случаях, когда на второстепенных въездах преобладают правоповоротные потоки, что является специфическим условием и может ограничивать применимость конфигурации.

Другая группа исследователей [19] оценивала эффективность турбоколец с помощью пропускной способности и экологических параметров. Результаты работы показали, что спиралевидная конфигурация в условиях ненасыщенного потока (до 70% от максимальной пропускной способности) может обеспечить более высокую производительность в сравнении со стандартными планировками. По экологическим параметрам выбросов CO, CO<sub>2</sub> и других газов, турбокольца обеспечивают меньшее количество выбросов при интенсивности движения вплоть до 80% от максимальной пропускной способности пересечения.

В Италии проводились исследования по преобразованию трёх кольцевых пересечений в турбокольцевые в городе Палермо [9]. Особенностью выбранных перекрёстков были следующие характеристики: несимметричная форма центрального островка и полос для движения; высокая интенсивность движения; высокая скорость при въезде на пересечение, особенно в ночное время суток. Результаты моделирования транспортной ситуации показали, что реконструкция в турбокольцевую развязку позволит повысить безопасность движения благодаря уменьшению числа конфликтных точек и снижению скорости движения на въездах и на кольцевой проезжей части. В то же время эксплуатационные характеристики будут увеличены из-за улучшения циркуляции транспортных потоков.

В дальнейших работах тех же авторов [10] сравнивались турбокольца с обычными кольцевыми пересечениями по задержкам на въездах и уровню обслуживания. Пропускная способность оценивалась с помощью модели Хагрина (O. Hagring) [11], базирующейся на теории принятия разрыва в транспортном потоке. В результате были определены границы применимости турбоколец в условиях свободного движения. Также был сделан вывод о том, что спиралевидные кольцевые пересечения обладают большей производительностью, если транспортные потоки с большой интенсивностью подъезжают с основного направления, а потоки со средней или низкой интенсивностью – со второстепенных направлений.

Ряд исследователей проводили анализ и сравнение пропускной способности кольцевых пересечений с помощью средств компьютерного моделирования. Так, в работе А. Šarić и I. Lovrić [17] авторы выявили, что пропускная способность турбокольцевой развязки может быть больше на 12–20%, причём это зависит от транспортных корреспонденций и состава транспортных потоков. К аналогичным результатам по увеличению пропускной способности пришли учёные, использовавшие для оценки стратегическую макромодель [4].

#### Анализ исследуемого участка

Кольцевое пересечение, рассматриваемое в данной работе, расположено в городе Калинин-

град, Россия (рисунок 1), на участке с высокой интенсивностью движения. Данное трёхполосное кольцевое пересечение имеет четыре въезда, расположенных на приблизительно равном расстоянии друг от друга. Явно выраженных основных и второстепенных направлений нет, так как в течение суток наблюдаются сильные колебания транспортных потоков. Диаметр центрального островка равен 50 метрам, в соответствии с классификацией ОДМ 218.2.071–2016 данное пересечение можно отнести к кольцевым пересечениям большого диаметра. Прочие геометрические характеристики для построения модели измерялись вручную ввиду отсутствия проектной документации.



Рисунок 1. Кольцевое пересечение с отметкой места установки камеры

Интенсивность движения на пересечении регистрировалась широкоугольной камерой, расположенной в точке 1 на изображении, ежедневно в течение 9 часов для охвата утреннего и вечерне-

го часов пик, а также периодов между ними. Были определены интенсивности транспортных потоков, длины очередей и построена матрица корреспонденций (таблица 1).

Таблица 1. Матрица корреспонденций на пересечении

	А (Колосова)	Б (Донского)	В (Румянцева)	Г (Донского)
Б	482	0	980	238
В	114	783	0	147
Г	41	271	194	0

Анализ матрицы корреспонденций показывает, что существующая кольцевая развязка характеризуется наличием большого левоповоротного потока. В частности, более 70% транспортных средств

поступает через въезд В по направлению выезда Б, что создаёт существенные очереди на выезде с кольца и на въезде А, который блокируется потоком, расположенным на кольце. Данную ситуацию

можно наблюдать на рисунке 1, когда водители из двух полос одновременно покидают пересечение через выезд Г. Этот доминирующий транспортный поток приводит к неравномерному использованию

кольцевой проезжей части и значительному уменьшению пропускной способности кольцевой развязки. Результаты оценки производительности пересечения в часы пик представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметрический анализ пересечения

	A <sub>1</sub> (Колоскова)	A <sub>2</sub> (Колоскова)	Б (Донского)	В (Румянцева)	Г (Донского)
Средняя длина очереди, м	38,6	32,5	17,9	7,4	6,4
Максимальная длина очереди, м	98,0	90,0	64,0	30,0	18,0

### Преобразование кольцевого пересечения в турбокольцевое

Ключевой геометрической особенностью турбоколец являются турбоблоки. Каждый блок создаётся путём задания радиусов полос движения и шага их поворота относительно соседних блоков. Конфигурация центрального островка и блоков

подбирается исходя из того, какие транспортные потоки преобладают на пересечении. Ширина проезжей части и отдельных полос выбирается таким образом, чтобы скорость движения на кольце не превышала 40 км/час. На рисунке 2 показан проект турбокольцевой развязки, разработанной с учётом транспортных потоков на исследуемом участке.



Рисунок 2. Геометрическая конфигурация турбокольца

Для сравнительного анализа использовалась аналитическая модель оценки пропускной способности. Методология оценки основана на теории транспортных потоков, по которой пропускная способность каждого въезда связана с потоками, движущимися по кольцевой проезжей части, а также с псевдоконфликтами на выездах с кольца. Анало-

гичная модель, основанная на модели О. Хагринга и модифицированная разработчиком турбокольцевой конфигурации Л. Фортайном, использовалась для оценки пропускной способности проектного турбокольцевого пересечения [6].

Базовая модель Бови выглядит следующим образом:

$$C_{round} = \frac{1}{\gamma} \left[ 1500 - \frac{8}{9} (\beta Q_c + \alpha Q_{exit}) \right] \quad (1)$$

где

$C_{round}$  – пропускная способность въезда;  $Q_c$  – количество конфликтующих транспортных средств;  $Q_{exit}$  – количество транспортных средств, движущихся на выезд;  $\gamma$  – коэффициент, описывающий влияние количества полос на въезде (для одной по-

лосы равен 1, для двух полос принимает значения от 0,6 до 0,7);  $\beta$  – коэффициент влияния количества полос на кольце (для одной полосы принимает значения от 0,9 до 1,0, для двух полос – от 0,6 до 0,8);  $\alpha$  – коэффициент влияния транспортных средств, выезжающих с кольцевой проезжей части.

После анализа матрицы корреспонденций (таблица 1) и геометрических характеристик исследуемого пересечения можно получить значения пропускной способности для каждого въезда. Однако ввиду того, что в работе сравниваются обычное и турбокольцевое пересечения, было принято решение использовать модель, предложенную Л. Фортайном, которая является развитием моделей Бови и Хагринга. Благодаря возможности проведения экспериментов в реальных условиях, Л. Фортайн [6] предложил разделить коэффициент  $\beta$  на  $b_1$ , характеризующий внешнюю полосу кольцевой проезжей части, и  $b_2$ , характеризующий внутреннюю полосу. Аналогичная процедура предусмотрена для коэффициента  $\alpha$ , учитывающего влияние выходного транспортного потока. Таким образом, модифицированная модель в упрощённом варианте выглядит следующим образом:

$$C_{E1} = C_0 - b_m \cdot Q_{Rm} - b_M \cdot Q_{RM} - a_1 \cdot Q_U \quad (2)$$

Таблица 3. Пропускная способность въездов обычного кольца

	$Q_c$	$Q_{exit}$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$C_{round}$
А	637	1700	0,25	0,65	0,68	818
Б	1054	1044	0,25	1	0,68	970
В	1174	506	0,25	0,65	0,68	506
Г	385		0,25	1	0,68	1879

Таблица 4. Пропускная способность въездов турбокольца

	$Q_c$	$Q_{Rm}$	$Q_{RM}$	$b_m$	$b_M$	$a_1$	$a_2$	$C_{E1}$	$C_{E2}$	$C_{turbo}$
А	637	155	482	0,68	0,82	0,21	0,14	911	704	1615
Б	1054	–	1054	0,68	0,82	0,21	–	636	499	1135
В	1174	194	637	0,68	0,82	0,21	0,14	682	711	1393
Г	385	–	385	0,68	0,82	0,21	–	1185	–	1185

Сравнив результаты, представленные в таблицах 3 и 4, можно отметить, что турбокольцевое пересечение обеспечивает более высокую суммарную пропускную способность. Данные по увеличению пропускной способности, представленные в таблице 5, показывают процентное изменение пропуск-

Таблица 5. Увеличение пропускной способности

	$C_{round}$	$C_{turbo}$	$\Delta C$ (%)
А	818	1615	97%
Б	970	1135	17%
В	506	1393	175%
Г	1879	1185	-37%

$$C_{E2} = C_0 - b_2 \cdot Q_{RZ} - a_2 \cdot Q_{UN}, \quad (3)$$

где

$C_0$  – базовая пропускная способность, равная 1500 усл.авт./ч; индекс 1 – левая полоса движения на въезде; индекс 2 – правая полоса движения на въезде;  $Q_R$  – транспортный поток на кольцевой проезжей части, индекс  $m$  относится к меньшей из двух интенсивностей транспортного потока, а индекс  $M$  – к большей; индекс  $N$  характеризует интенсивность транспортного потока на внутренней полосе проезжей части с круговым движением; индекс  $Z$  связан с интенсивностью транспортного потока на внешней полосе проезжей части с кольца.

Результаты вычислений сведены в таблицы 3 и 4 для существующего кольцевого пересечения и турбокольца соответственно. В модифицированной модели пропускная способность считается отдельно для каждой полосы на въезде, а затем суммируется для определения суммарной пропускной способности въезда.

ной способности каждого въезда. Как можно заметить, эффект варьируется от 17% для въезда Б до примерно 175% для въезда В. Отдельно следует отметить уменьшение пропускной способности въезда Г на 37%, которое не повлияет на транспортную ситуацию ввиду низкой интенсивности движения.

### Компьютерное моделирование

Микромодель использовалась для дополнительного подтверждения результатов, полученных с по-

мощью аналитических моделей. Модель была выполнена в программном обеспечении PTV VISSIM 8 (рисунок 3).



Рисунок 3. Модели существующего пересечения (а) и турбокольца (б)

С учётом данных, собранных в процессе наблюдения за пересечением (интенсивность движения, длины заторов, скорость движения), была проведена процедура калибровки в соответствии с рекомендациями [22]. Целевыми функциями, по которым сравнивалась производительность конфигураций, были выбраны длины заторов и время задержки. Для получения достоверных результатов необходимо тщательно проанализировать наиболее важные параметры модели [24], а именно: 1) транспортные корреспонденции на пересечении, представленные в таблице 1; 2) распределение скорости в зонах приближения, а также зоны понижения скорости на кольцевой проезжей части и на выездах; 3) минимальный интервал между транспортными средствами на въездах; 4) минимальный разрыв в потоке, движущемся по кольцу; 5) поведенческая модель водителя (для данной ра-

боты использовалась модель по умолчанию).

Микромоделирование проводилось посредством настройки следующих параметров: 1) задание матрицы корреспонденций с учётом распределения транспортного потока во времени; 2) задание правил приоритета, скорости приближения к пересечению и зон снижения скорости; 3) разработка сценариев для анализа утреннего и вечернего часов пик, колебаний транспортных потоков во времени. Сравнение производительности проводилось для узла в целом, а также для отдельных наиболее загруженных направлений по средней и максимальной длине затора, среднему времени задержки и времени простоя.

### Результаты исследования

Итоговые результаты были усреднены и сведены в таблицу 6.

Таблица 6. Увеличение пропускной способности

		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	Б	В	Г
Средняя длина наблюдаемой очереди, м	существующее пересечение	38,7	32,5	7,4	17,9	5,4
	турбокольцо	15,3	10,2	6,8	12,5	6,3
Изменение длины, %		-60,47%	-68,62%	-8,11%	-30,17%	16,67%

Результаты, представленные в таблице, показывают, что преобразование обычного кольцевого пересечения в турбокольцо может привести к значительному уменьшению заторов на въездах. Например, наиболее загруженный южный въезд показывает улучшение на 30% по сравнению с наблюдаемой ситуацией. Это в целом подтверждает результаты, полученные с помощью аналитической модели Л. Фортайна, и показывает, что спиралевидная конфигурация является эффективным решени-

ем по увеличению пропускной способности при несбалансированных транспортных потоках.

### Заключение

Турбокольцевые развязки представляют собой новую конфигурацию перекрестков, которые обеспечивают более высокий уровень безопасности благодаря своим геометрическим характеристикам, в первую очередь связанным с формой центрального острова (спиралевидный) и разделением

полос движения бордюрами (как на въездах, так и на проезжей части). Эти функции обеспечивают преимущества в плане безопасности дорожного движения: уменьшение количества конфликтных точек как следствие отсутствия смены полосы движения на проезжей части; низкую скорость движения при сквозном движении и, как следствие, снижение риска аварии.

Более того, несколько предыдущих исследований показали, что турбокольцевые развязки обеспечивают более высокие эксплуатационные характеристики благодаря увеличению пропускной способности и лучшему распределению потоков. В свете вышеизложенного в данной статье основное внимание уделяется оценке длины очереди и пропускной способности существующей кольцевой развязки, преобразованной в турбокольцевую, для чего были использованы ранее не применявшиеся в российских методических документах математические модели Бови, Хагрина и Фортайна. Результаты показали, что можно добиться сокра-

щения длины очереди, в частности, улучшение превысило 60% для некоторых направлений. Таким образом, предлагаемое турбокольцевое пересечение может повысить как безопасность, так и эксплуатационные характеристики, что составляет его практическую значимость.

Следующим этапом исследования планируется изучение возможности интегрирования методики оценки пропускной способности, рассмотренной в данной статье, в отечественную методику выбора типа пересечений, лежащую в основе таких нормативно-технических документов, как «Методические указания по проектированию кольцевых пересечений автомобильных дорог»<sup>1</sup> и ОДМ 218.4.005–2010<sup>2</sup>. Конечной целью исследования планируется создание новой методики оценки пропускной способности кольцевых пересечений разных типов, в том числе учитывающей особенности функционирования кольцевых пересечений на территории Российской Федерации.

### Литература

1. Ahac S., Džambas T., Dragčević V. Review of fastest path procedures for single-lane roundabouts Šibenik, Croatia, 2016. P. 885–891.
2. Astarita V. [and other]. Analysis of Non-Conventional Roundabouts Performances through Microscopic Traffic Simulation // Applied Mechanics and Materials. 2014. (505–506). P. 481–488.
3. Brilon W. Studies on Roundabouts in Germany: Lessons Learned Carmel, Indiana, 2011. P. 1–15.
4. Engelsman J. C., Uken M. Turbo roundabouts as an alternative to two lane roundabouts 2007. P. 581–589.
5. Fortuijn L. G. H. Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance // Transportation Research Record. 2009. № 1 (2096). P. 16–24.
6. Fortuijn L. G. H. Turbo Roundabouts: Estimation of Capacity // Transportation Research Record. 2009. № 1 (2130). P. 83–92.
7. Gallelli V., Vaiana R. Safety improvements by converting a standard roundabout with unbalanced flow distribution into an egg turbo roundabout: Simulation approach to a case study // Sustainability (Switzerland). 2019. № 2 (11). P. 1–13.
8. Gallelli V., Vaiana R., Iuele T. Comparison between Simulated and Experimental Crossing Speed Profiles on Roundabout with Different Geometric Features // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2014. (111). P. 117–126.
9. Giuffrè O., Granà A., Guerrieri M. Turbo-roundabout general design criteria and functional principles: case studies from real world Valencia, Spain, 2010. P. 1–12.
10. Giuffrè O., Granà A., Marino S. Comparing Performances of Turbo-roundabouts and Double-lane Roundabouts // Modern Applied Science. 2012. № 10 (6). P. 70–79.
11. Hagring O. A further generalization of Tanner's formula // Transportation Research Part B-methodological. 1998. № 6 (32). P. 423–429.
12. Mauro R., Cattani M. Potential Accident Rate of Turbo-Roundabouts Valencia, Spain, 2010.
13. Mauro R., Cattani M., Guerrieri M. Evaluation of the Safety Performance of Turbo Roundabouts by Means of a Potential Accident Rate Mode // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 2015. (10). P. 28–38.

<sup>1</sup> Методические указания по проектированию кольцевых пересечений автомобильных дорог. Утв. Министерством автомобильных дорог РСФСР 04.10.79 [Электронный ресурс] // Техэксперт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200041476> / Guidelines for the design of ring intersections of roads. Approved. Ministry of roads of the RSFSR 04.10.79. Techexpert. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200041476>.

<sup>2</sup> ОДМ 218.4.005-2010 Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах [Электронный ресурс] // Техэксперт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084056> / ODM 218.4.005-2010 Recommendations to ensure traffic safety on roads. Techexpert. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200084056>.



14. Montella A. Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types // *Accident Analysis & Prevention*. 2011. № 4 (43). P. 1451–1463.
15. Praticò F. [and other]. Transport and traffic management by micro simulation models: operational use and performance of roundabouts A Coruña, Spain, 2012. P. 383–394.
16. Praticò F., Vaiana R., Gallelli V. Micro-simulation effectiveness in predicting operating speed profiles in a roundabout // *Advances in Transportation Studies*. 2015. № 37 (NOV2015). P. 5–14.
17. Šarić A., Lovrić I. Multi-lane roundabout capacity evaluation // *Frontiers in Built Environment*. 2017. № 42 (3).
18. Silva A. B., Maia Seco Á. J. da, Silva J. P. C. da Characterization of Trajectories Adopted at Roundabout Crossings Strasbourg, France, 2006.
19. Silva A. B., Mariano P., Silva J. P. Performance Assessment of Turbo-roundabouts in Corridor // *Transportation research procedia*. 2015. (10). P. 124–133.
20. Tomaž T. *Alternative Types of Roundabouts* / T. Tomaž, Springer International Publishing, 2015. 206 p.
21. *Transportation Research Board Roundabouts: An Informational Guide – Second Edition* / T. R. Board, Washington, DC: The National Academies Press, 2010. 396 p.
22. Vaiana R., Gallelli V., Iuele T. Simulation of Observed Traffic Conditions on Roundabouts by Dedicated Software // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. (53). P. 741–753.
23. Vaiana R., Gallelli V., Iuele T. Methodological Approach for Evaluation of Roundabout Performances through Microsimulation // *Applied Mechanics and Materials*. 2013. № PART 1 (253–255). P. 1956–1966.
24. Vaiana R., Gallelli V., Iuele T. Sensitivity Analysis in Traffic Microscopic Simulation Model for Roundabouts // *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 2013. № 3 (8). P. 174–183.
25. Vasconcelos L. [and other]. Turboroundabouts: Multicriterion Assessment of Intersection Capacity, Safety, and Emissions // *Transportation Research Record*. 2014. № 1 (2402). P. 28–37.
26. Yap Y. H., Gibson H. M., Waterson B. J. An International Review of Roundabout Capacity Modelling // *Transport Reviews*. 2013. № 5 (33). P. 593–616.

#### References

1. Ahac, S., Džambas, T., Dragčević, V. (2016) Review of fastest path procedures for single-lane roundabouts Šibenik. Croatia, pp. 885–891.
2. Astarita, V. [and other] (2014) Analysis of Non-Conventional Roundabouts Performances through Microscopic Traffic Simulation. *Applied Mechanics and Materials*. (505–506), pp. 481–488. (In Engl.).
3. Brilon, W. (2011) Studies on Roundabouts in Germany : Lessons Learned Carmel. Indiana, pp. 1–15. (In Engl.).
4. Engelsman, J. C., Uken, M. (2007) Turbo roundabouts as an alternative to two lane roundabouts, pp. 581–589. (In Engl.).
5. Fortuijn, L. G. H. (2009) Turbo Roundabouts : Design Principles and Safety Performance. *Transportation Research Record*. Vol. 1 (2096), pp. 16–24. (In Engl.).
6. Fortuijn, L. G. H. (2009) Turbo Roundabouts: Estimation of Capacity. *Transportation Research Record*. Vol. 1 (2130), pp. 83–92. (In Engl.).
7. 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* (Switzerland). Vol. 2 (11), pp. 1–13. (In Engl.).
8. Gallelli, V., Vaiana, R., Iuele, T. (2014) Comparison between Simulated and Experimental Crossing Speed Profiles on Roundabout with Different Geometric Features. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. (111), pp. 117–126. (In Engl.).
9. Giuffrè, O., Granà, A., Guerrieri, M. (2010) Turbo-roundabout general design criteria and functional principles: case studies from real world Valencia, Spain, pp. 1–12. (In Engl.).
10. Giuffrè, O., Granà, A., Marino, S. (2012) Comparing Performances of Turbo-roundabouts and Double-lane Roundabouts. *Modern Applied Science*. Vol. 10 (6), pp. 70–79. (In Engl.).
11. Hagrings, O. A. (1998) Further generalization of Tanner’s formula. *Transportation Research Part B-methodological*. Vol. 6 (32), pp. 423–429. (In Engl.).
12. Mauro, R., Cattani, M. (2010) Potential Accident Rate of Turbo-Roundabouts Valencia. Spain.
13. Mauro, R., Cattani, M., Guerrieri, M. (2015) Evaluation of the Safety Performance of Turbo Roundabouts by Means of a Potential Accident Rate Mode. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. (10), pp. 28–38. (In Engl.).
14. Montella, A. (2011) Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types. *Accident Analysis & Prevention*. Vol. 4 (43), pp. 1451–1463. (In Engl.).

15. Praticò, F. [and others] (2012) Transport and traffic management by micro simulation models: operational use and performance of roundabouts A Coruña. Spain, pp. 383–394. (In Engl.).
16. Praticò, F., Vaiana, R., Gallelli, V. (2015) Micro-simulation effectiveness in predicting operating speed profiles in a roundabout. *Advances in Transportation Studies*. Vol. 37 (NOV2015), pp. 5–14. (In Engl.).
17. Šarić, A., Lovrić, I. (2017) Multi-lane roundabout capacity evaluation. *Frontiers in Built Environment*. Vol. 42 (3). (In Engl.).
18. Silva, A. B., Maia, Seco, Á. J. da, Silva, J. P. C. da (2006) Characterization of Trajectories Adopted at Roundabout Crossings Strasbourg, France.
19. Silva, A. B., Mariano, P., Silva, J. P. (2015) Performance Assessment of Turbo-roundabouts in Corridor. *Transportation research procedia*. Vol. 10, pp. 124–133. (In Engl.).
20. Tomaž, T. (2015) *Alternative Types of Roundabouts*. Springer International Publishing, 206 p.
21. Board, T. R. (2010) *Transportation Research Road Roundabouts: An Informational Guide*. Washington, DC: The National Academies Press, 396 p.
22. Vaiana, R., Gallelli, V., Iuele, T. (2012) Simulation of Observed Traffic Conditions on Roundabouts by Dedicated Software. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. Vol. 53, pp. 741–753. (In Engl.).
23. Vaiana, R., Gallelli, V., Iuele, T. (2013) Methodological Approach for Evaluation of Roundabout Performances through Microsimulation. *Applied Mechanics and Materials*. PART 1 (253–255), pp. 1956–1966. (In Engl.).
24. Vaiana, R., Gallelli, V., Iuele, T. (2013) Sensitivity Analysis in Traffic Microscopic Simulation Model for Roundabouts. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. Vol. 3 (8), pp. 174–183. (In Engl.).
25. Vasconcelos, L. [and others] *Turboroundabouts: Multicriterion Assessment of Intersection Capacity, Safety, and Emissions*. *Transportation Research Record*. Vol. 1 (2402), pp. 28–37. (In Engl.).
26. Yap, Y. H., Gibson, H. M., Waterson, B. J. (2013) An International Review of Roundabout Capacity Modelling. *Transport Reviews*. Vol. 5 (33), pp. 593–616. (In Engl.).

**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**, заведующий лабораторией 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

Статья поступила в редакцию: 15.10.2020; принята в печать: 23.11.2020.

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**, Head of the Laboratory 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

The paper was submitted: 15.10.2020.

Accepted for publication: 23.11.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.